



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROTECHNOLOGIE

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONIC TECHNOLOGY

NÁVRH FOTOVOLTAICKÉ ELEKTRÁRNY PRO RODINNÝ DŮM V LOKALITĚ OLOMOUC

DESIGN OF A PHOTOVOLTAIC POWER PLANT FOR A FAMILY HOUSE NEAR OLOMOUC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Dušan Juříčka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

BRNO 2021

Bakalářská práce

bakalářský studijní program **Mikroelektronika a technologie**

Ústav elektrotechnologie

Student: Dušan Juříčka

ID: 186433

Ročník: 3

Akademický rok: 2020/21

NÁZEV TÉMATU:

Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům v lokalitě Olomouc

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Seznamte se s principem fotovoltaického děje a proveďte analýzu a rozbor používaných FV technologií pro výrobu FV článků. Proveďte rozbor technologií pro akumulátorové úložiště dle parametrů jednotlivých typů baterií. Zaměřte se na vyhodnocení trhu v ČR (výhody, dotace, podmínky, legislativa). V praktické části práce navrhnete řešení FVE + bateriové úložiště pro rodinný dům dle konkrétního zadání a proveďte multikriteriální analýzu.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle doporučení vedoucího práce.

Termín zadání: 29.1.2021

Termín odevzdání: 3.6.2021

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Háze, Ph.D.
předseda rady studijního programu

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá seznámením s komponenty fotovoltaického systému a vytvořením specifického fotovoltaického systému, instalovaného na rodinném domě nacházejícího se severně od Olomouce. Systém je navržen pro splnění požadavků čtyřčlenné rodiny. Na základě simulací a aktuálních cen na trhu je zhodnocena rentabilita celého systému. Taktéž je přihlédnuto k peněžní návratnosti projektu a možností dotace ze strany státu. Navíc je zahrnuta budoucí možnost pořízení elektromobilu a simulován potenciální vliv na tok energií v rámci vnitřní sítě.

Klíčová slova

Fotovoltaika, alternativní zdroje energie, slunce, foton, rodinný dům, baterie, panel, měnič, elektromobil, PVSOL

Abstract

The bachelor's thesis deals with the introduction to the components of a photovoltaic system and the creation of a specific photovoltaic system installed in a family house located north of Olomouc. The system is designed to meet the requirements of a family of four. Based on simulations and current market prices, the profitability of the entire system is evaluated. The financial return of the project and the possibility of a subsidy from the state are also considered. In addition, the future possibility of purchasing an electric car is included and the potential impact on the flow of energy within the internal power grid is simulated.

Keywords

Photovoltaic, alternative source of energy, sun, photon, family house, battery. Panel, convertor, electromobile, PVSOL

Bibliografická citace

JUŘIČKA, Dušan. *Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům v lokalitě Olomouc* [online]. Brno, 2021. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/134599>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechnologie. Vedoucí práce Jiří Vaněk.

Prohlášení autora o původnosti díla

| | |
|-----------------------------------|---|
| Jméno a příjmení studenta: | <i>Dušan Juříčka</i> |
| VUT ID studenta: | <i>186433</i> |
| Typ práce: | <i>Bakalářská práce</i> |
| Akademický rok: | <i>2020/21</i> |
| Téma závěrečné práce: | Návrh fotovoltaické elektrárny pro rodinný dům v lokalitě Olomouc |

Prohlašuji, že svou závěrečnou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucí/ho závěrečné práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené závěrečné práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této závěrečné práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: 3.června 2021

podpis autora

Poděkování

Děkuji vedoucímu semestrální práce doc. Ing. Jiří Vaněk, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne: 3.června 2021

podpis autora

Obsah

| | |
|--|----|
| SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK | 9 |
| SEZNAM OBRÁZKŮ | 10 |
| SEZNAM TABULEK..... | 11 |
| ÚVOD | 12 |
| 1. HISTORIE FOTOVOLTAIKY | 13 |
| 2. VYUŽITÍ SVĚTLA FV PANELY | 14 |
| 3. TECHNOLOGIE FV PANELŮ..... | 15 |
| 3.1 VÝROBA KŘEMÍKU | 15 |
| 3.2 STRUKTURA ČLÁNKŮ | 15 |
| 3.3 DRUHY FV PANELŮ | 16 |
| 3.3.1 Monokrystalické..... | 16 |
| 3.3.2 Polykrystalické..... | 17 |
| 3.3.3 Amorfni články..... | 17 |
| 3.3.4 Hybridní články..... | 18 |
| 4. STŘÍDAČE | 19 |
| 4.1.1 Parametry | 19 |
| 4.1.2 Ostrovní střídače..... | 20 |
| 4.1.3 Síťové střídače..... | 20 |
| 5. BATERIE..... | 22 |
| 5.1 LITHIUM-IONTOVÉ AKUMULÁTORY | 23 |
| 5.2 OLOVĚNÉ AKUMULÁTORY | 24 |
| 5.3 NABÍJECÍ REGULÁTOR | 24 |
| 5.4 UCHYCENÍ SYSTÉMU | 25 |
| 6. PODMÍNKY DOTACE | 26 |
| 6.1.1 C.3.7 Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem ≥ 4 000 kWh.rok-1 | 28 |
| 7. NÁVRH SAMOTNÉHO SYSTÉMU..... | 29 |
| 7.1 OBJEKT INSTALACE | 29 |
| 7.2 PARAMETRY NÁVRHU | 29 |
| 7.2.1 Elektrické zapojení a ochrany vedení FV..... | 30 |
| 7.2.2 Střídač..... | 30 |
| 7.2.3 FV panely..... | 30 |
| 7.2.4 Baterie..... | 31 |
| 7.2.5 Ohříváč vody..... | 32 |
| 7.3 AUTOMOBIL | 32 |
| 7.4 SOUPIS KOMPONENT SYSTÉMU | 34 |
| 7.5 PV SOL | 34 |
| 7.5.1 3D model okolního prostředí a simulace | 34 |
| 7.5.2 Simulace zastínění..... | 36 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.5.3 | <i>Simulace toku energie – FVE + ohříváč vody.....</i> | 36 |
| 7.5.4 | <i>Simulace toku energie – FVE + ohříváč vody + automobil.....</i> | 38 |
| 7.5.5 | <i>Návratnost projektu</i> | 38 |
| 7.5.6 | <i>Vstupní investice</i> | 40 |
| 7.5.7 | <i>Roční úspory</i> | 40 |
| 8. | ZÁVĚR..... | 42 |
| | LITERATURA..... | 43 |

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratky:

| | |
|--------|---|
| FEKT | Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií |
| VUT | Vysoké učení technické v Brně |
| AC | alternating current |
| DC | direct current |
| FV | fotovoltaika |
| MPP | maximum power point |
| BMS | battery monitoring systém |
| IGBT | Insulated gate bipolar transistor |
| MOSFET | metal oxide semiconductor field effect transistor |
| ERÚ | Energetické regulační úřad |

Symboly:

| | | |
|-----------|-----------------------------|------|
| U | napětí | [V] |
| I | proud | [A] |
| P | výkon | [W] |
| f | hertz | [Hz] |
| λ | Vlnová délka | [nm] |
| kWh | Spotřeba elektrické energie | |
| Wp | Výkon FV panelu | |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | | |
|----|---|----|
| 1 | První komerčně produkováný FV panel – Bell labs 1954 [1] | 13 |
| 2 | Spektrální distribuce světla [1]..... | 14 |
| 3 | Stavba FV článku [1]..... | 16 |
| 4 | polykrystalický článek (vlevo), monokrystalický článek [4]..... | 17 |
| 5 | Druhy článků [5] | 18 |
| 6 | Invertor s transformátorem (nahore) a bez (dole) [3] | 19 |
| 7 | příklady zapojení střídačů a) centrální střídač, b) velké FV elektrárny, c) středně velké a malé elektrárny [3] | 20 |
| 8 | Druhy fotovoltaických střídačů [5] | 21 |
| 9 | Specifická hustota energie v závislosti na objemové hustotě [5] | 22 |
| 10 | Konstrukce Lithium-iontového článku [5] | 23 |
| 11 | Systém aktivního sledování slunce [2]..... | 25 |
| 12 | Pasivní systém uchycení [2] | 25 |
| 13 | Satelitní snímek rodinného domu [8] | 29 |
| 14 | Stacionární ohřívač vody OKCE 200 S výrobce Dražice..... | 32 |
| 15 | Upravený satelitní snímek pomoví programu PVSOL | 35 |
| 16 | Trajektorie slunce pro oblast Luká - spádová oblast pozice domu (výstup z PVSOL) | 35 |
| 17 | Satelitní snímek rodinného domu (výstup z PVSOL) | 36 |
| 18 | Tok energie graficky – ohřívač vody (výstup z PVSOL) | 37 |
| 19 | Tok energie graficky – automobil + ohřívač vody (výstup z PVSOL)..... | 38 |
| 20 | Návratnost bez zahrnutých reinvestic (výstup z PVSOL) | 39 |
| 21 | Návratnost se zahrnutím reinvestic (výstup z PVSOL)..... | 39 |

SEZNAM TABULEK

| | | |
|---|---|----|
| 1 | Dotované typy solárních systémů [6] | 27 |
| 2 | Srovnání FV panelů..... | 31 |
| 3 | Srovnání automobilů | 33 |
| 4 | Produkce FV systému..... | 37 |
| 5 | Vstupní investice | 40 |
| 6 | Celková spotřeba a úspory | 41 |

ÚVOD

V dnešní době, kdy energetická náročnost každého z nás stále roste se stejně tak i zvyšuje globální potřeba pro využití alternativních zdrojů energie, které disponují nižší zátěží pro životní prostředí. Tato postupná nutnost pro přechod na alternativní energie a s tím spojené snižování emisí je pomalu, ale jistě implementovaná díky snaze států a jejich dotačních programů, které tak razantně zrychlují návratnost prozatím nákladné investice. Implementace fotovoltaického systému se tak stává zajímavou i po finanční stránce, a to také díky protichůdným trendům dlouhodobě rostoucích cen elektrické energie oproti snižujícím se cenám pořízení FV elektrárny.

Tato práce má za úkol shrnout jak využívané technologie FV elektrárny, tak legislativní náležitosti, které je nutné splnit pro dosažení nejvhodnějšího příspěvku od Ministerstva životního prostředí.

Jako hlavní část je realizován návrh fotovoltaického systému s variantami úložných prostorů, včetně stanovení návratnosti nákladů v průběhu let. Do návrhu FV elektrárny je zahrnuta varianta při dodatečném pořízení elektromobilu. Vozidla jsou zhodnocena především po stránce dlouhodobých nákladů na dopravu a porovnána s automobilem se vznětovým motorem.

1. HISTORIE FOTOVOLTAIKY

Vyrobení prvního komerčně použitelného fotovoltaického článku se datuje již k roku 1954, kdy Daryl Chapin, Calvin Fuller a Gerald Pearson v rámci Bell labs vyvinuli silikonový fotovoltaický článek. Tyto články byly jako první využitelné díky jejich efektivitě (z počátku 4 % následně 11 %) pro napájení běžně využívané elektroniky.

V 60. letech začala být tato technologie používána pro poskytování elektrické energie pro satelity obíhající na zemské oběžné dráze.

V 70. letech pak byla technologie dále vylepšována, co se týče efektivnosti a kvality a životnosti článků. S těmito změnami následovala čím dál větší agregace pro vhodná řešení jako je například využití ve špatně dostupných místech pro zařízení s nízkou energetickou náročností.

Následně pak v 80. letech články začaly pronikat taktéž do konzumní elektrotechniky, jako například do hodinek, přenosných rádií, světel a dalších malých zařízení.

Na základě energetických výpadků v USA z předchozích let byla v této době taktéž vyvíjena velká snaha pro vývoj této technologie pro využití ve větším měřítku. Především u zdravotních zařízení, čerpadel vody, telekomunikačních sítí a obydlí mimo elektrickou síť.

V dnešní době průmyslová výroba FV panelů roste v průměru o 25 procent ročně a jednotlivé země se snaží technologii zpřístupnit za pomoci dotačních programů.



Obrázek 1 První komerčně produkováný FV panel – Bell labs 1954 [1]

2. VYUŽITÍ SVĚTLA FV PANELY

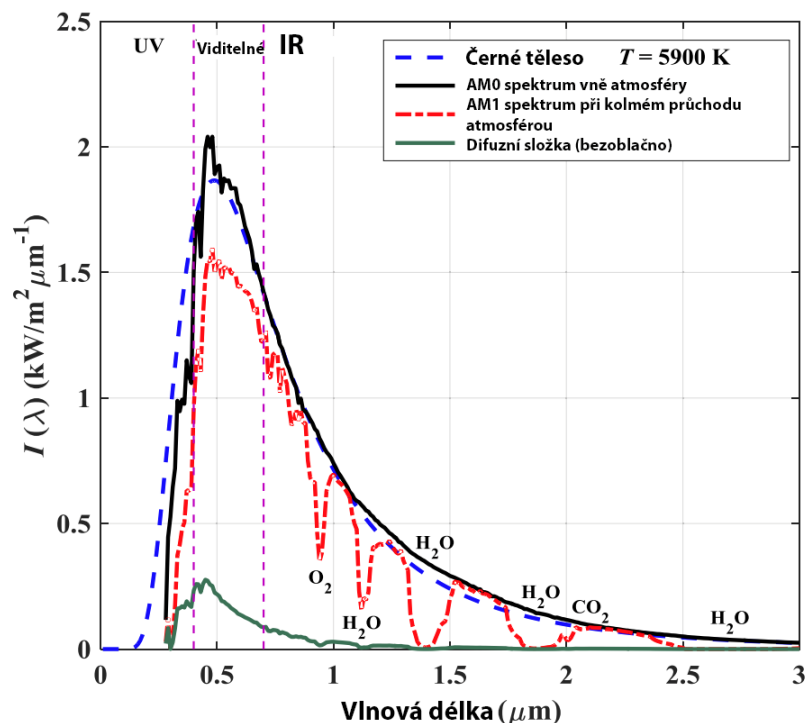
Vyzářená energie v podobě světla (emitované fotony) je pro náš fotovoltaický systém vstupní zdroj energie. Slunce emituje elektromagnetické záření na úrovni černého tělesa. Teplota jádra slunce se pohybuje okolo 6 000 K. Tyto hodnoty jsou zajištěny především díky nukleární reakci probíhající na povrchu slunce, při které dochází k přeměně vodíku na helium.

Tok sluneční energie procházející plochou 1 m² kolmo k povrchu země při střední vzdálenosti země-slunce, měřený mimo vliv zemské atmosféry se nazývá sluneční konstanta.

Slunce, stejně jako model černého tělesa, pokrývá široké spektrum vlnových délek přes hluboké UV záření až po dlouhovlnné infračervené záření.

Spektrální distribuce světla je zobrazena na obrázku 2. Vertikální osa reprezentuje spektrální distribuci $I(\lambda)$, horizontální osa zase vlnovou délku udávanou v μm . Z grafu je patrné, že nejvyšší spektrální ozáření je při vlnové délce 500 nm.

Na zemském povrchu spektrální distribuce klesá z důvodu přítomnosti vzduchu v atmosféře. Molekuly vzduchu záření rozptýlí a z části absorbují díky absorpčním pásům prvků v atmosféře obsažených (převážně H₂O, O₂, CO₂).



Obrázek 2 Spektrální distribuce světla [1]

3. TECHNOLOGIE FV PANELŮ

Materiály pro FV články mohou být vyrobeny z různých druhů polovodičů. Při různém uložení a uspořádání struktur. Křemík lze využít v různých formách (krystalické, multikrystalické a amorfni).

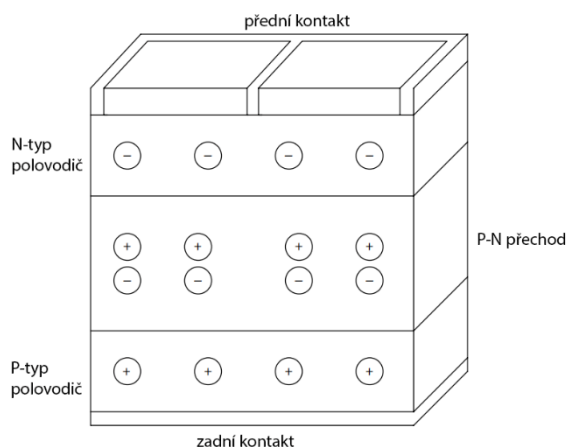
3.1 Výroba křemíku

Pro výrobu fotovoltaických článku je křemík nejprve nutné získat v čisté formě. V první řadě je potřeba odloučit kyslík z oxidu křemičitého. K odloučení dochází při zahřátí křemíku společně s uhlíkem prachem, koksem a dřevěným uhlím v obloukové peci při teplotách od 1 800 až do 1 900°C. Při tomto procesu dochází ke vzniku metalurgického křemíku s čistotou až 98 % a oxidu uhelnatého. Pro využití v dnešní elektrotechnice je třeba křemík ještě s vyšší čistotou, a tak se dále zbavuje nečistot za pomoci chemických procesů. Využívá se například Siemensovy metody, při které lze získat nejčistšího křemíku. Takto upravený křemík pak rozlišujeme podle stupnice čistoty 8 až 11 N. Nejvyšší čistota je na úrovni 99,9999 %.

3.2 Struktura článků

Fotovoltaický článek přeměňuje sluneční světlo na elektrickou energii díky fyzikálním procesům známým pod jménem fotovoltaický efekt. Světlo, které dopadá na FV článek může být odraženo, pohlceno, anebo projde skrz. V případě pro generování energie je bráno v potaz pouze světlo absorbované jako produkující energii.

Samotný článek si lze zjednodušeně představit jako diodu. Jedná se v základu o negativní polovodič typu-N (s přítomností elektronů), na kterém se difuzí vytvoří přechod s pozitivního polovodičem typu-P (s přítomností děr). Mezi vrstvami P a N vzniká takzvaný přechod P-N, který zabraňuje volnému přechodu z místa jejich nadbytku do části s nedostatkem. Na přechodu PN je tak vytvořena bariéra. Základní vlastností takového přechodu je, že volné elektrony mohou snadno přecházet z vrstvy P do vrstvy N, ale opačným směrem ne. Obrázek 3 zobrazuje jednoduchou stavbu fotovoltaického článku.



Obrázek 3 Stavba FV článku [1]

Energie absorbovaného světla je předána valenčním elektronům atomů FV článku. Tyto elektrony jsou tak vyraženy z valenčního pásu elektronů a stávají se součástí elektrického toku v elektrickém obvodu. Minimální energie fotonu pro vyražení elektronu se pohybuje na úrovni 1,12 eV (pro Si). Této energii odpovídá světlo s vlnovou délkou kolem 1105 nm (infračervené záření). Záření s vyšší vlnovou délkou (např. mikrovlnné) již dostatečnou energií nedisponují a fotovoltaický jev tak nejsou schopny vyvolat.

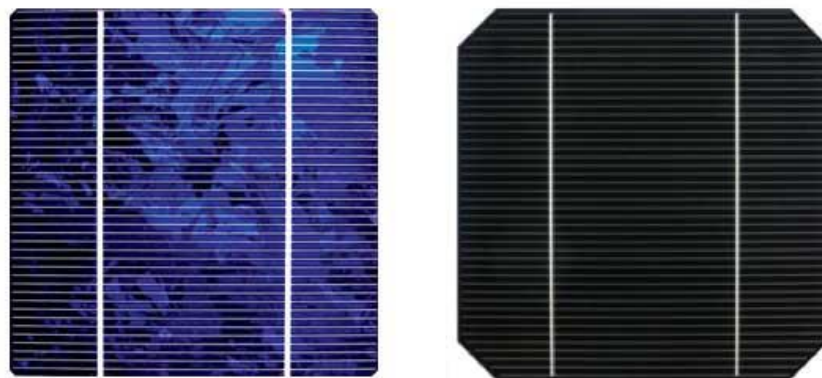
3.3 Druhy FV panelů

FV panely lze rozdělit do třech nejvíce komerčně využívaných technologických typů. Jsou to monokrystalické, polykrystalické a amorfnní FV panely.

3.3.1 Monokrystalické

Technologie s nejvyšší využitelností je brána monokrystalická, která dosahuje účinnosti okolo 20 % u komerčně nabízených technologií a při ideálních podmínkách (vhodný sklon a světelné podmínky). Vzhledem k náročnější výrobní technologii byly tyto články nejdražší, ale s čím dál větší produkcí se podařilo náklady v průběhu času úspěšně snižovat.

Na první pohled jde tyto panely rozeznat díky zaobleným hranám jednotlivých silikonových bloků a černé barvě. Hlavní výhoda monokrystalických panelů tkví především v už výše zmíněné účinnosti, životnosti a nižší ovlivnitelnosti teplotními změnami oproti panelům ostatních technologií.



Obrázek 4 polykrystalický článek (vlevo), monokrystalický článek [4]

3.3.2 Polykrystalické

Z počátku byly polykrystalické panely s účinností posazeny o něco níže (15 až 17 %) a nižší teplotní odolností, ale zato disponovaly lepším využitím paprsků dopadajících na panel z ostřejšího úhlu. Především pak méně náročnou a levnější výrobou vzhledem k využití surového křemíku.

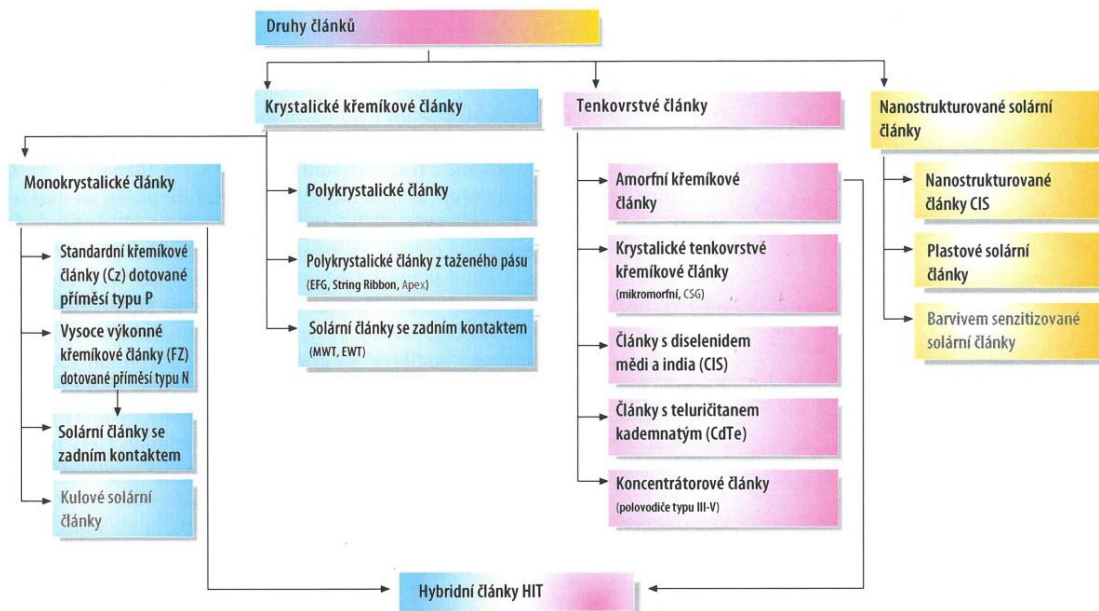
Se stále zlepšující se výrobní technologií se již polykrystalické panely parametrově rovnají těm monokrystalickým. Vzhledově jsou tyto panely rozeznatelné díky jejich namodralé barvě a rohům jednotlivých bloků, které jsou ostré.

3.3.3 Amorfni články

Amorfni panely, nebo také nazývané jako „tenko vrstvé“ se skládají z polovodiče, jako je například amorfni křemík(a-Si), slitiny Cu-In-Ga-Se, Cd-Te. Tyto materiál se nanáší v tenké vrstvě na podkladový materiál (kov, plast, sklo). Efektivita se pohybuje někde kolem 11 %. Jejich hlavní výhoda je v nízké váze.

3.3.4 Hybridní články

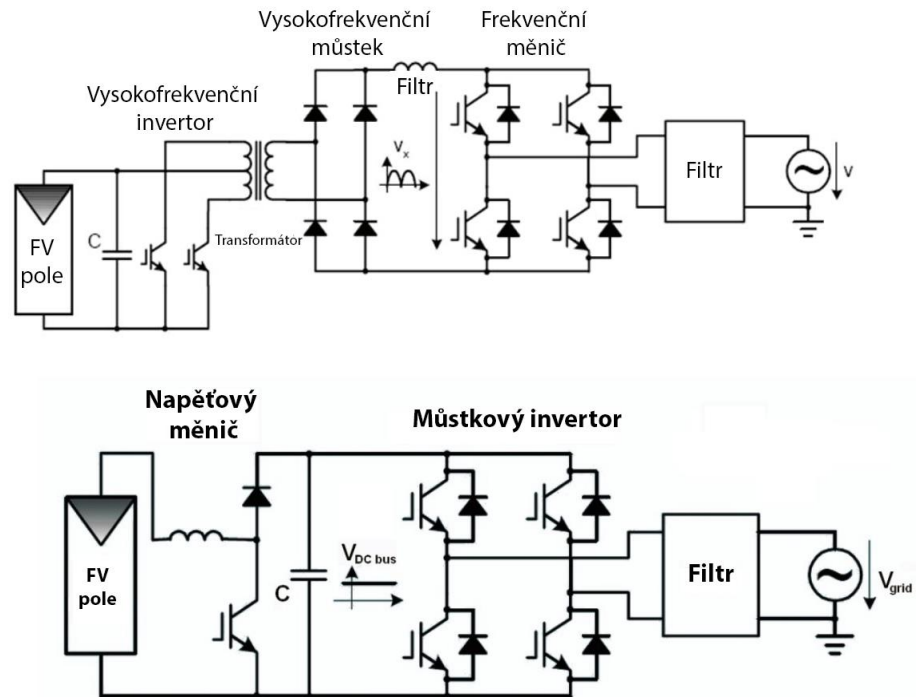
Jedná se o kombinaci krystalického a tenkovrstvého FV článku. Struktura se skládá z krystalického a amorfního křemíku, který je propojen s další nedotovanou vrstvou. Jádrem článku je monokrystalický článek, který je z obou stran pokrytý tenkou vrstvou amorfního křemíku. U běžných křemíkových článků je polovodič rozdílně dotován pro vytvoření přechodu, u hybridních článků vzniká mezi polovodiči, které jsou strukturálně rozdílné. Oproti amorfni technologii jsou tyto články více vydatné. V laboratorních podmínkách se povedlo vytvořit články s účinností až 23 %. Při sériové výrobě se hodnoty účinností pohybují kolem 19 %. Zároveň nedochází ke stárnutí způsobené indukovaným světlem jako u tenkovrstvých článků.



Obrázek 5 Druhy článků [5]

4. STŘÍDAČE

Protože FV panely vyrábí pouze stejnosměrný proud, tak pro využití v rámci domácnosti a pro potřeby přístrojů navržených pro střídavou síť jsme nuceni stejnosměrný proud změnit na střídavý za pomoci střídače – tzv. invertor.



Obrázek 6 Invertor s transformátorem (nahore) a bez (dole) [3]

4.1.1 Parametry

U střídačů se snažíme především o dosažení co nejmenších tepelných ztrát. Těch dosahují invertory beztransformátorové s regulací MPP (maximum power point), které jsou schopny změnou vstupního odporu optimalizovat chod.

Beztransformátorové střídače jsou oproti těm s transformátorem lehké, kompaktní a levné, díky využití elektrických, a ne mechanických spínačů. Jejich hlavní nevýhodou je přímé propojení AC a DC obvodu. Dochází tak ke zvýšení rizika poruch, zkratu a je nutná dodatečná ochrana proudovým chráničem. Hlavní výhodou je téměř 100% účinnost.

U transformátorových dochází díky magnetickému poli transformátoru ke galvanickému oddělení AC a DC obvodu. Zároveň dochází ke snížení elektromagnetického ovlivňování a není nutné kompenzace napětí FV generátoru. Na druhé straně nevýhody jsou v podobě vyšší hmotnosti, ztrát v transformátoru a obecně rozměrnější konstrukci.

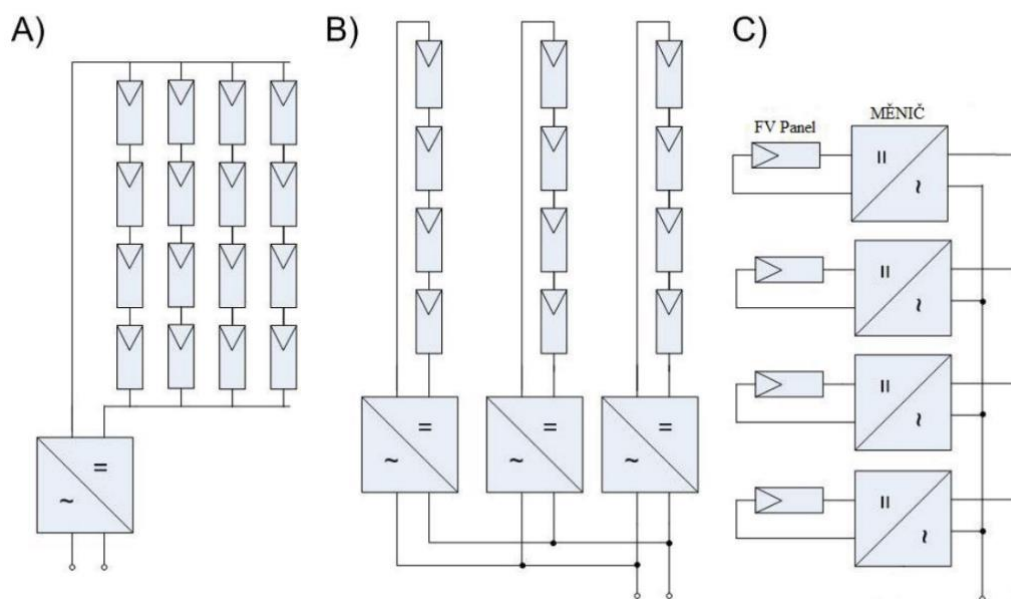
Základní parametry, na které je při výběru invertoru třeba dávat pozor je především nominální výkon AC a DC strany, maximální vstupní napětí, rozsah napětí MPP regulátoru a účinnost střídače.

4.1.2 Ostrovní střídače

Jak už název napovídá, ostrovní střídače jsou určeny pro využití mimo distribuční síť (chaty, odlehlé nemovitosti). Střídač tak není připojen k vnější síti a nedochází k synchronizace s distribucí – generuje vlastní síťový kmitočet (50 Hz).

4.1.3 Síťové střídače

Je napojen na distribuční síť, neustále synchronizují vlastní kmitočet s parametry rozvodné sítě. Vyrobený solární proud se tak hned spotřebuje, uloží do bateriového systému, nebo v případě přetoků odprodá do elektrické sítě.



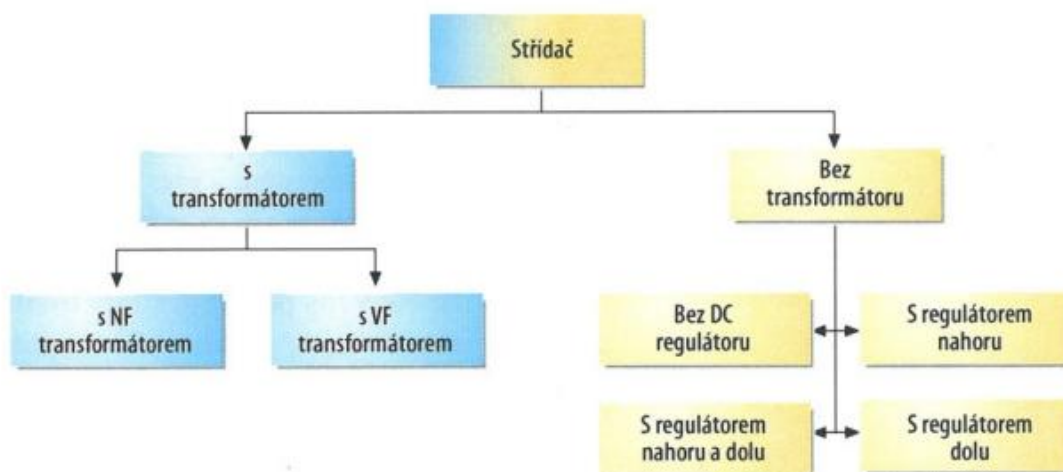
Obrázek 7 příklady zapojení střídačů a) centrální střídač, b) velké FV elektrárny, c) středně velké a malé elektrárny [3]

Dále je pak třeba dbát na vhodném počtu MPP regulátorů, aby tak bylo docíleno pracování s maximálním jmenovitým výkonem fotovoltaických panelů. Střídač musí

v závislosti na změně svitu reagovat posunem pracovního bodu úpravou vnitřního nastavení.

Dnes komerčně nabízené střídače jsou již vybaveny, nebo umožňují dokoupení modulu s možností sledování a analýzou dlouhodobých dat spotřeby a produkce energie. Lze tak docílit k eliminaci nežádoucích problémů, popřípadě upravit systém pro docílení větší výnosnosti.

U panelů s výkonem do 5 kWp jsou používány jednofázové střídače, u systémů nad 5kWp trojfázové střídače. U trojfázových rozvodů je možné zapojení jednoho třífázového střídače, na kterém dochází k symetrickému rozdělení výkonu do tří fází, nebo zapojení tří jednofázových střídačů, které se stejnoměrně rozdělí na tři fáze prostřednictvím komunikativní vazby.



Obrázek 8 Druhy fotovoltaických střídačů [5]

5. BATERIE

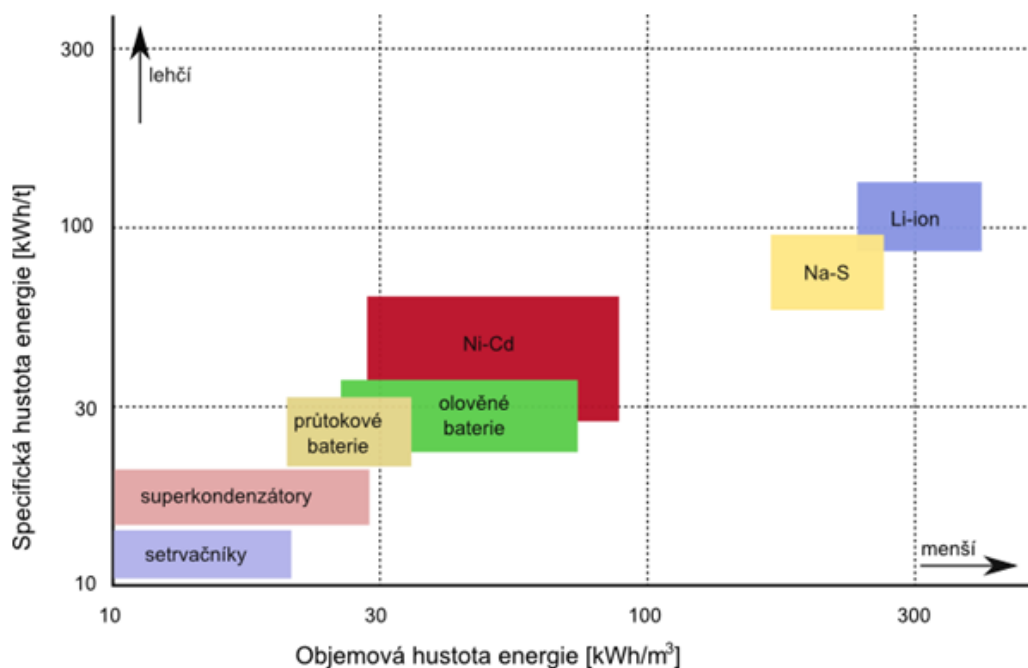
Výroba elektrické energie je omezena především díky povětrnostním vlivům a střídáním denních cyklů. Proto aby bylo zamezeno fluktuaci výstupního proudu z FV systému je třeba vybavit elektrárnu bateriemi pro stabilizaci a poskytování přes den nasbírané energie v průběhu noci, nebo oblačných dní.

Baterie se skládá z elektrochemických článků. Samotný článek pak z kladných a záporných elektrod, které vytváří energetický potenciál. Elektrody jsou umístěny v elektrolytu, které umožňuje transport nosičů náboje z jedné elektrody na druhou.

Jako hlavní údaje, který pro rozlišení článků udáváme je výkon, kapacita, počet možných cyklů a hloubka vybití.

Výkon je maximální energie, kterou článek může v jeden moment vydávat, udává se ve wattech [W]. Kapacita je maximální energie, jaká může být v akumulátoru uložena, udává se ve watt hodinách [Wh]. Počet možných cyklů stanovuje, kolikrát je možné baterii zcela nabít a vybit, dokud nedojde k poklesu kapacity baterie pod užitnou hodnotu. Hloubka vybití pak stanovuje maximální množství energie, kterou můžeme z článku využít, dokud nedojde k jeho poškození.

Ve fotovoltaických systémech se v dnešní době používají především Lithium-iontové akumulátory, a akumulátory olověné, které vyžadují větší prostor a mají nejnížší energetickou hustotu na kilogram a značně nižší počet možných cyklů.



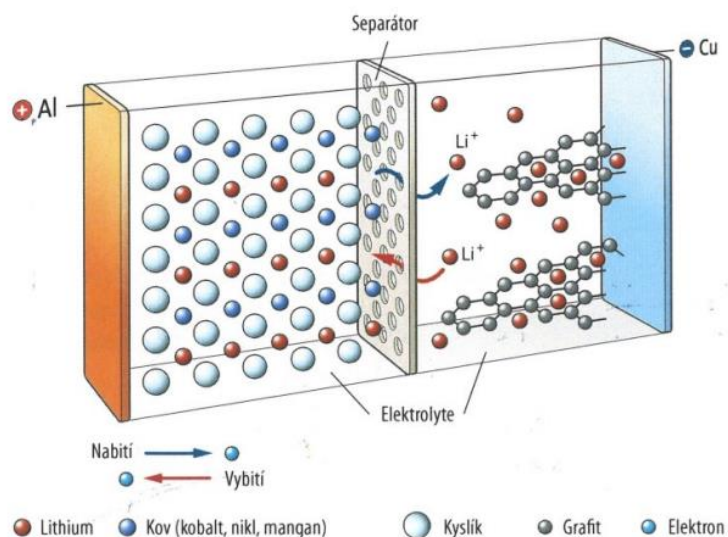
Obrázek 9 Specifická hustota energie v závislosti na objemové hustotě [5]

5.1 Lithium-iontové akumulátory

Lithium iontové akumulátory jsou především požizovány z důvodu vyšší objemové hustoty energie a tím spojených nižších nároků na prostor při zachování stejné kapacity. Dále pak jsme schopni takovou baterii používat po podstatně větší množství nabíjecích cyklů z čehož plyne delší životnost. Životnost takového bateriového systému se pohybuje někde okolo 20 let. Odhad životnosti je prováděn za pomoci zrychlených testů stárnutí bez jasně určených parametrů a tím se může reálná životnost oproti tabulkové lišit.

Kladný pól baterie je tvořen oxidem lithia a záporný z grafitu. Elektrolyt mezi fóliemi pólů tvoří soli lithia s obsahem fluoru a rozpouštědla organického původu. Membrána s propustností pro ionty (separátor) mezi pólovými fóliemi chrání baterii před vnitřními zkraty. Lithium iontové akumulátory se dále mohou lišit na základě použití různých separátorů a akumulátorovou chemií. V závislosti na těchto změnách můžeme ovlivnit jak kapacitu, životnost, tak bezpečnost článků.

Při procesu vybíjení odevzdávají atomy lithia přítomné na anodě jeden elektron, který putuje vnějším proudovým obvodem přes spotřebič ke katodě. Paralelně protečou přes separátor volné lithiové ionty ve směru od anody ke katodě. Lithium při tom zůstává na straně katody jako iont. V průběhu nabíjení je tento proces obrácený.



Obrázek 10 Konstrukce Lithium-iontového článku [5]

5.2 Olověné akumulátory

Olověné akumulátory jsou složeny z několika dílčích článků s jmenovitým napětím 2 V/článek. Samostatné články jsou pak uloženy ve společném pouzdře a sériově propojeny (většinou do baterií o napětí 6, 12, nebo 24 V). V případě potřeby větší kapacity, nebo napětí je možné jednotlivé baterie následně sériově/paralelně propojit.

Samotný článek je nádoba naplněná kapalným elektrolytem (kyselina sírová). V elektrolytu jsou ponořeny dvě sady desek opačné polarity, které slouží jako elektrody. Skládají se z nosiče olova ve tvaru mřížky a aktivního materiálu.

Při spojení elektrického obvodu protékají spotřebičem elektrony od záporného ke kladnému pólu. Tak dochází k chemické reakci mezi deskami a elektrolytem. Při nabíjení akumulátoru dochází k opačnému jevu.

5.3 Nabíjecí regulátor

Battery monitoring system (BMS) je jednotka zajišťující vhodné podmínky pro vybíjení a nabíjení. Bez nežádoucích stavů jako je podbití, nebo přebití akumulátoru, které razantně snižují životnost a zvyšuje pravděpodobnost havárie.

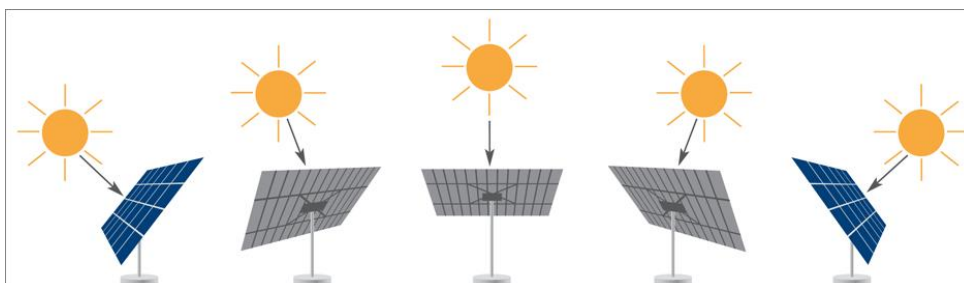
Následně celý systém slouží pro sledování stavu nabití akumulátoru, ochraně proti zkratu, přepólování a optimalizaci nabíjení, kdy v návaznosti na spotřebě systém optimalizuje procentuální nabití baterie, a tak je schopen dále zvyšovat životnost celého systému.

Hlavní funkce je tedy monitorovat parametry baterií a následně je odpojovat při dosažení nominálního napětí v průběhu nabíjení, popřípadě před podbitím odpojit zátěž. Pro zajištění funkce jsou většinou využity výkonové spínače typu IGBT a MOSFET.

5.4 Uchycení systému

Uchycení FV panelů dělíme do dvou systémů. Pasivní a aktivní. Pasivní systém, jak už název napovídá, není vybaven žádným přídavným mechanismem pro pohyb. Konstrukce je zcela fixována v ideální střední hodnotě pro instalační lokaci.

Aktivní systém naopak využívá přídavných systémů pro aktivní sledování slunce v průběhu dne a tím tak zvyšuje výtěžnost na maximum. Dále se pak využívá u koncentrátorových panelů, kde je zapotřebí čočkou sjednocený paprsek stále směřovat na malou plochu panelu. [2]



Obrázek 11 Systém aktivního sledování slunce [2]



Obrázek 12 Pasivní systém uchycení [2]

6. PODMÍNKY DOTACE

Instalace solárních termických a FV systémů do dokončených rodinných domů a do novostaveb rodinných domů (včetně rozestavěných). (Musí být zapsáno v katastru nemovitostí k trvalému bydlení)

O dotaci v této podoblasti podpory může vlastník domu (fyzické i právnické osoby) požádat na jeden rodinný dům pouze jednou za dobu trvání Programu, a to i v případě rodinného domu s více bytovými jednotkami.

Výjimkou je kombinace solárního systému určeného pro ohřev teplé vody (podoblasti podpory C.3.1/C.3.2/C.3.3) s fotovoltaickým systémem (podoblast podpory C.3.5/C.3.6) s akumulací elektřiny výhradně do akumulátorů.

Podpora je dána fixní částkou dle typu pořízeného nového zdroje/systému a podoblasti a celková výše podpory na jednu žádost je omezena na max. 50 % řádně doložených způsobilých výdajů.

Žádat je možné před zahájením, v průběhu nebo po dokončení realizace podporovaných opatření. Pro rodinné domy památkově chráněné anebo v památkově chráněném území nutno doložit souhlas památkářů. Při montáži na novostavbu (ještě nezkolaudovaný objekt) nutno pro čerpání dotace doložit kolaudační rozhodnutí. Instalaci vybraných zařízení vyrábějících energii z obnovitelných zdrojů energie (kotle na biomasu, solární tepelné systémy a tepelná čerpadla) může provádět pouze osoba oprávněná.

Po dokončení realizace podporovaných opatření je žadatel povinen prokázat technické vlastnosti použitých materiálů a výrobků. V případě výběru materiálu, nebo výrobku ze seznamu výrobků a technologií žadatel technické vlastnosti nedokládá. U bezchybných žádostí podaných po realizaci opatření lze očekávat vyplacení dotace cca za 9 týdnů od podání žádosti. [6]

Tabulka 1 Dotované typy solárních systémů [6]

| | Typ systému | Výše podpory [Kč] |
|------|---|----------------------|
| C3.1 | Solární termický systém na přípravu teplé vody | 35 000 |
| C3.2 | Solární termický systém na přípravu teplé vody a vytápění | 50 000 |
| C3.3 | Fotovoltaický systém pro přípravu teplé vody s přímým ohřevem | 35 000 |
| C3.4 | Fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 55 000 |
| C3.5 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 1\,700 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 70 000 |
| C3.6 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 100 000 |
| C3.7 | Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 150 000 |
| C3.8 | Fotovoltaický systém efektivně spolupracující se systémem vytápění a přípravy teplé vody s tepelným čerpadlem | 150 000 |
| C3.9 | Fotovoltaický systém bez akumulace elektrické energie s tepelným využitím přebytků a celkovým využitelným ziskem $\geq 3\,000 \text{ kWh.rok}^{-1}$ | 80 000 |

6.1.1 C.3.7 Fotovoltaický systém s akumulací elektrické energie a celkovým využitelným ziskem $\geq 4\,000$ kWh.rok-1

- maximální FV výkon systému 10kWp
- systém musí být propojen s distribuční soustavou
- EURO účinnost použitého střídače musí být minimálně 94%
- systém musí být vybaven technologií MPPT
- minimální účinnost FV panelu je 15 % pro polykrystal a monokrystal, 10 % pro amorfni panely
- systém musí být umístěn na stavbě evidované v katastru nemovitostí
- nejméně 70 % z teoretického solárního zisku musí být spotřebováno v domě
- systém musí dosáhnout alespoň 4000kWh / rok teoretického solárního zisku (výroby)
- minimální kapacita akumulátoru 1,75kWh na instalovaný 1kWp FV panelů pro olověné akumulátory
- minimální kapacita akumulátoru 1,25kWh na instalovaný 1kWp FV panelů pro Lithiové akumulátory
- předložení obdobného posudku a projektové dokumentace

VÝŠE DOTACE: 150 000 Kč [6]

Vzhledem k roční spotřebě a snaze o co nejvyšší minimalizaci závislosti na síti dodávané elektřině budovat FV řešení se ziskem $\geq 4\,000$ kWh.rok-1 včetně bateriového systému. Při takovém rozsahu lze na materiál projektu a odbornou instalaci získat dotaci až 150 000 Kč / 50 % z celkové částky. To znamená, že tuto částka lze získat při úpravě v ceně 300 000 Kč a více.

7. NÁVRH SAMOTNÉHO SYSTÉMU

7.1 Objekt instalace

Jedná se o rodinný dům nacházející se 30 km severně od města Olomouc. Dům disponuje rovnou střechou a minimálním stíněním v průběhu roku. Roční spotřeba se pohybuje okolo 5 MWh.

GPS: 49.7484016457, 16.9326166784

Roční suma globálního záření: 1 127 kWh/m²

Roční průměrná teplota: 8,1 °C



Obrázek 13 Satelitní snímek rodinného domu [8]

7.2 Parametry návrhu

Pro projektování FV systému je třeba nejprve znát základní parametry návrhu, od kterých lze dále celý systém vhodně nastavit. Mezi nejhlavnější z nich patří:

- Umístění domu
- Roční spotřeba
- Spotřební profil
- Situační výkres

Na základě těchto parametrů pak lze dále přistoupit k řešení samotného simulovaného návrhu.

7.2.1 Elektrické zapojení a ochrany vedení FV

Systém je zapojen v koncepci hybridního fotovoltaického systému. Zakomponování ochrany je nutné pro zachování bezpečnosti pro případné odstavení v průběhu poruchy.

Proto je systém vybaven přepětovou ochranou, dále pak uzemněnou ochranou proti přepětí a bezpečnostním odpojovačem. Na straně FV panelů jsou umístěny jističe, které systém odpojí od střídače v případě poruchy. Zároveň lze využít tento jistič jako vypínač pro případ údržby panelů. Před střídačem je umístěna přepětová ochrana tzv. blesková. Za střídačem je umístěn odpojovač a taktéž blesková ochrana. Samotný střídač má také vlastní ochrany pro odpojení v případě překročení DC proudu.

7.2.2 Střídač

Pro námi navrženou kombinaci FV panelů s maximálním výkonem 6300 Wp je ideální střídač od firmy GoodWe přesněji pak typ GW5K-ET. Jedná se o hybridní třífázový beztransformátorový střídač s maximálním vstupním výkonem 6500 Wp DC, je pro naše řešení zcela dostačující a bude schopen zvládat maximální hodnoty produkce, které můžeme předpokládat v jarních dnech, kdy se panely příliš nezahřejí, ale slunečního svitu je již dostatek.[9]

7.2.3 FV panely

U výběru FV panelů bylo uvažováno o komerčně dostupných panelech s výkonem v rozmezí od 400–450 Wp. Rozdíl účinnosti polykrystalických a monokrystalických panelů se již pohybuje v rozsahu 1-2 %, životnost je stejná, záruka na zpracování je u všech porovnávaných panelů stanovena na 12 let a stejně tak záruka výkonu je u všech panelů 25 let / 84,8 %. Hlavní rozdíl je tedy v rozměrech a ceně. Při dosažení stejného výkonu jsou polykrystalické panely o pár centimetrů větší a cena je rozdílná o 1-2 koruny za Wp.

Jako nejvýhodnější z níže uvedených panelů (Tabulka 2) by se dal uvažovat vzorek panelu 2 a 3 vzhledem k ceně za Wp. Celý set 14 panelů je při výběru monokrystalického panelu (vzorek 3) o 12 334 Kč dražší a celkový výkon je o 350 Wp vyšší. Při daném řešení nás prostor neomezuje, a tak se jeví jako nejvhodnější řešení 15 polykrystalických panelů, které budou stále o 8384 Kč levnější a nominální výkon bude 6300 Wp tedy dalších 70 Wp navíc.

Tabulka 2 Srovnání FV panelů

| Vzorek | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|
| Výrobce | Canadian Solar [11] | Canadian Solar [10] | LONGI [13] | Suntech [12] |
| Model | CS3W-440MS | CS3W-420P | LR4-72HHH-445M | STP370S-B60/Wnh |
| Technologie | Monokrystal | Polykrystal | Monokrystal | Monokrystal |
| Výkon [Wp] | 440 | 420 | 445 | 370 |
| Výkon/14 panelů [Wp] | 6 160 | 5 880 | 6 230 | 5 180 |
| Účinnost [%] | 19,92 | 19 | 20,5 | 20,3 |
| Záruka | 12 let | 12 let | 12let | 12let |
| Záruka výkonu | 84,8 % / 25 let | 84,8 % / 25 let | 84,8 % / 25 let | 84,8 % / 25 let |
| Rozměry [VxŠxH] | 2108 x 1048x40 | 2108 x 1048x40 | 2094x1038x35 | 1756x1039x35 |
| WP/cm2 | 50,23 | 52,62 | 48,76 | 49,3 |
| Cena/panel [Kč]* | 4 804 | 3 950 | 4 831 | 4 048 |
| Cena/Wp [Kč]* | 10,92 | 9,40 | 10,86 | 10,94 |
| Cena/14 panelů [Kč]* | 67 256 | 55 300 | 67 634 | 56 672 |

*prodejní ceny rok 2021

7.2.4 Baterie

Jako bateriový systém jsem volil řešení od firmy Pylontech, přesněji v podobě 5x baterie H48050 (kapacita 2,4kWh) a BMS systém SC500A-100S od stejné firmy. Firma Pylontech byla především volbou z důvodu možné jednoduché upravitelnosti systému a s tím spojené jednoduché rozšíření, popřípadě výměny vadných bloků za nové. Výrobce poskytovaná záruka je stanovena na 7 let.

V rámci celého systému je využití baterií opodstatněné. U spotřeby domů se tak 35% vyrobené energie zachová a následně spotřebuje místo přetoku do sítě. [16]

7.2.5 Ohříváč vody

Pro doplnění úložného systému se jeví jako vhodná varianta pořízení elektrického ohříváče vody, který bude v případě přetoků energii uchovávat v podobě teplé vody. Jelikož průměrná spotřeba vody na 1 osobu se pohybuje kolem 45 l tak objem ohříváče byl stanoven na 210 l. Ohříváč je osazen topnou spirálou o výkonu 3,75 kWh a 210 l je schopen ohřát z 10 °C na 60 °C zhruba za 3 hodiny. V letních dnech tak bude využito dalších 1 224 kWh přetoků a bude tak naplněna dotační podmínka pro spotřebování minimálně 70% celkové výroby energie. Vzhledem k nutnosti výměny dosluhujícího ohříváče nebyla cena na pořízení zahrnuta do kalkulace systému. Cena ohříváče se pohybuje okolo 15 000 Kč. [14], [16]



Obrázek 14 Stacionární ohříváč vody OKCE 200 S výrobce Dražice

7.3 Automobil

Jako další rozšíření je možné volit elektromobil, který je zajímavým řešením i bez FV elektrárny. Při možnosti domácího nabíjení a využití distribučního tarifu D27d se dostáváme na cenu za kilometru okolo 0,30 Kč a při nájezdu 20 000 km za rok je úspora oproti dieselovému motoru (2,2 Kč/km) zhruba 40 000 Kč.

Hlavním omezením je dojezd a o něco delší čas dobíjení, takže záleží na charakteru využití vozidla. U častých delších jízd je zatím elektromobil ne příliš dobrým řešením, ale v případě každodenního dojíždění do práce se vzdáleností do 150 km je tato alternativa volitelná. Delší cesty jsou taktéž možné, ale vzhledem k zatím malému počtu dobíjecích stanic je nutno trasu přizpůsobovat.

Životnost baterie je odvislá od její velikosti a stylu jízdy uživatele. Pokles kapacity se dá zhruba stanovit na 15 % při nájezdu 250 000 km, což je například 30 km z reálného dojezdu 220 km (Nissan Leaf 40 kWh). U automobilů s větším akumulátorem se dá odhadovat při stejném nájezdu procentuální degradace o něco nižší.

Tabulka 3 Srovnání automobilů

| | Škoda Octavia 3 [21] | Nissan Leaf [19] | VW E-golf [18] | Tesla 3 LR [20] |
|---|-------------------------|---------------------|-------------------|--------------------|
| Nájezd [km] | 17 000 | 8 000 | 32 000 | 26 200 |
| Baterie [kWh] | | 40 | 35,8 | 75 |
| Dojezd [km] | 833 | 220 | 235 | 429 |
| Náklady na km [Kč] | 2,2 | 0,32 | 0,29 | 0,34 |
| Nájezd za rok [km] | 20 857 | 20 857 | 20 857 | 20 857 |
| Náklady za rok [Kč] | 45 885 | 6 674 | 6 049 | 7 091 |
| Nájezd za 10 let [km] | 208 570 | 208 570 | 208 570 | 208 570 |
| Náklady palivo/10 let [Kč] | 458 854 | 66 742 | 60 485 | 70 914 |
| Úspora na palivu / 10 let [Kč] | | 392 112 | 398 369 | 387 940 |
| Pořizovací cena [Kč] | 540 000 | 570 000 | 455 000 | 1 049 900 |
| <i>Celková úspora/10let [Kč]</i> | | <i>362 112</i> | <i>483 369</i> | <i>-121 960</i> |
| <i>Palivo + pořizovací cena/10let [Kč]</i> | 998 854 | 636 742 | 515 485 | 1 120 814 |
| Produkce Co2 [g/km] | 118 | 0 | 0 | 0 |
| Co2 10 Let [t] | 24,61 | 0 | 0 | 0 |

*prodejní ceny rok 2021

Vzhledem k již relativně dostupné možnosti nákupu ojetého elektro automobilu se hodí srovnání. V tabulce 3 jsem vypsal důležité nákladové parametry při pořizování elektromobilu a porovnal je s Octavií 3 s motorizací 2.0 TDI (110 kW). Hlavním omezujícím faktorem byl nájezd, který jsem stanovil maximálně do 35 000 km.

Z výstupu je znatelné, že ceny elektroaut, vzhledem ke snížené poptávce na trhu, klesají podstatně rychleji, a tak se rozdíl téměř smazává. Zároveň celý pohonný systém automobilu je jednodušší, není nutno měnit žádné provozní kapaliny a díky rekuperačnímu brzdění dochází k nižšímu opotřebení brzd.

Úspora pouze na palivu je tak 362 000 Kč u Nissanu Leaf a až 483 000 Kč u VW E-Golf. Kromě znatelné úspory na pohonných hmotách je třeba také zmínit nulové lokální emise. Vznětový motor vyprodukuje za 208 570 km 24,61 tun CO₂.

Spíše pro zajímavost jsem do srovnání přidal Teslu 3 Long range, která má reálný dojezd téměř dvojnásobný (429 km), ale cena za ojetý vůz s nájezdem 26 200 km je 1 049 000Kč.

Pro simulaci se po srovnání jeví jako nejlepší řešení VW E-Golf, a to především díky nejnižší ceně. Při očekávaném pořízení na 10 let bude mít při prodeji automobil nájezd 240 000 km.

7.4 Soupis komponent systému

| | | |
|-----------------|-----|----------------------------|
| Panely: | 15x | Canadian Solar CS3W-420P |
| Střídač: | 1x | GoodWe GW5K-ET |
| Baterie: | 5x | Pylontech H48050 (LiFePO4) |
| BMS: | 1x | Pylontech SC0500A-100S |
| Ohřívač: | 1x | OKCE 200 S |

7.5 PV SOL

Je velice oblíbený návrhový program od německé firmy Valentin software. S širokou škálou tržně dostupných prvků pro fotovoltaické systémy.

Jeho hlavní využitelné funkce jsou:

- Návrh 3D prostředí, generování zastínění okolím
- Vyváženost systému
- Vytváření profilu zátěže a spotřeby
- Generování a tok energie systémem během roku
- Stanovení návratnosti a průběžných investic

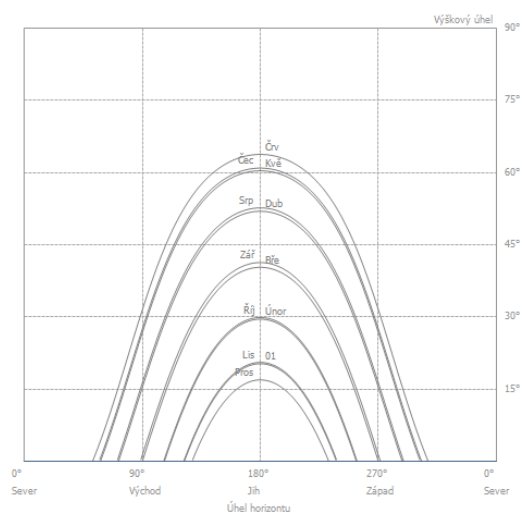
7.5.1 3D model okolního prostředí a simulace

Pro správnou simulaci zastínění je v první řadě nutno vymodelovat veškeré vysoké objekty v okolí, které by mohly FV instalaci stínit a snižovat tak celkový výkon stringu. Program PVSOL umožňuje generaci staveb různých tvarů včetně stromů.



Obrázek 15 Upravený satelitní snímek pomocí programu PVSOL

Samotná simulace pak následně počítá se změnou trajektorie slunce v průběhu roku a tím způsobeným posunem stínů, včetně změny výkonu fotovoltaických panelů v závislosti na polarizaci atmosférou a předpokladem zastínění.

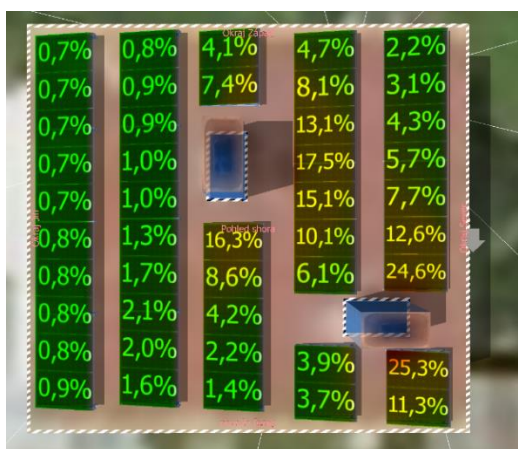


Obrázek 16 Trajektorie slunce pro oblast Luká - spádová oblast pozice domu (výstup z PVSOL)

7.5.2 Simulace zastínění

Na obrázku 17 je názorně zobrazeno zastínění – snížení výkonu jednotlivých FV panelů v průběhu roku. Jako ideálním řešením se jeví využít první a části druhé řady.

Při takovém rozmístění se dostáváme k maximální ztrátě zastíněním 1 % což je pro naše využití zcela vyhovující.

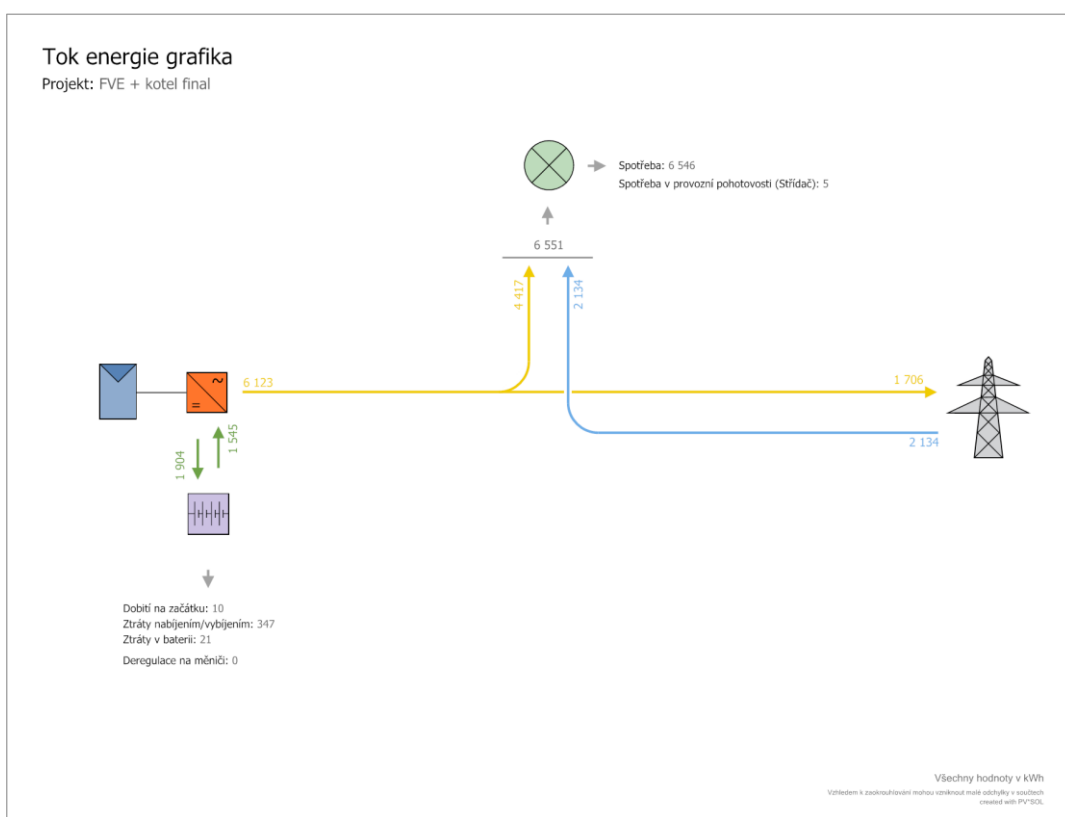


Obrázek 17 Satelitní snímek rodinného domu (výstup z PVSOL)

7.5.3 Simulace toku energie – FVE + ohřívač vody

Na základě simulovaného řešení jsme se dostali k výsledku, že FV systém pokryje 4,36 MWh (obrázek 18). To se rovná 66 % roční spotřeby. Takovou náhradou pak dochází ke snížení emisí CO₂ o zhruba 2 667 kg každý rok. Zároveň systém splňuje podmínku pro spotřebování alespoň 70 % vyrobené energie (viz. Tabulka 4).

Přetoky do sítě se rovnají 1,71 MWh/rok. Jedná se o přebytky, které jsou vyprodukované především v letních měsících, kdy spotřeba elektřiny není tak vysoká. Přetoky je možné odprodávat až za 0,95 Kč/kWh. [17]



Obrázek 18 Tok energie graficky – ohřívač vody (výstup z PVSOL)

Tabulka 4 Produkce FV systému

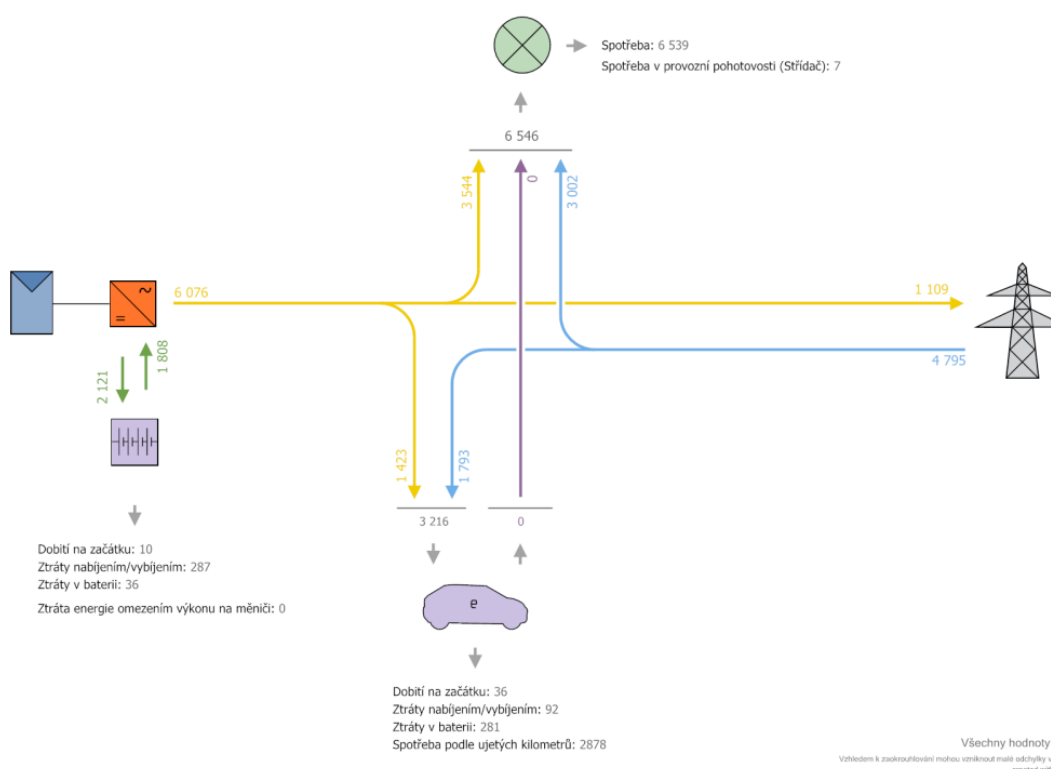
| | |
|--|------------------|
| Instalovaný výkon | 6,3 kWp |
| Roční výnos | 1 027,98 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení | 87,5 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 6,2 %/Rok |
| Energetický výnos FVS (AC síť) s baterií | 6 123 kWh/Rok |
| Vlastní spotřeba | 3 297 kWh/Rok |
| Spotřeba přebytku | 1 120 kWh/Rok |
| Odprodej do sítě | 1 706 kWh/Rok |
| Podíl vlastní spotřeby | 72,1 % |
| Snížení emisí CO ₂ | 2 702 kg/rok |

7.5.4 Simulace toku energie – FVE + ohřívač vody + automobil

Na obrázku 19 je viditelné využití v případě nabíjení automobilu za pomoci domácí sítě. Z grafiky vyplývá, že by mělo dojít k dalšímu snížení přetoků. Výstup lze brát pouze jako orientační, protože lze během roku očekávat různé využití automobilu, a tak se reálné hodnoty mohou lišit jak kladně, tak záporně. Distribuční tarif elektřiny pro automobil je stejný jako při ohřevu vody elektřinou. Z toho důvodu dokládám pouze graf toků, protože další protokol návratnosti projektu by se lišil zcela minimálně.

Graf toků energie

Projekt: FVE + automobil+ kotel



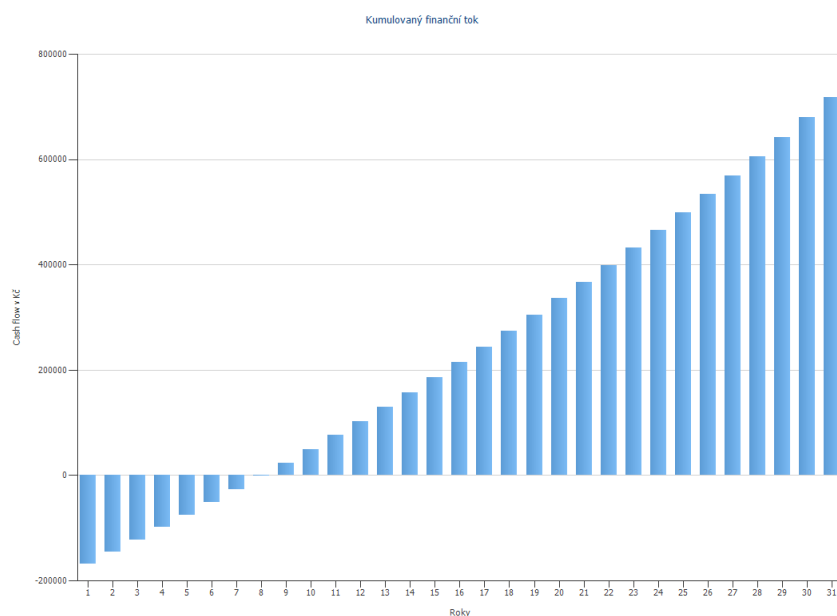
Obrázek 19 Tok energie graficky – automobil + ohřívač vody (výstup z PVSOL)

7.5.5 Návratnost projektu

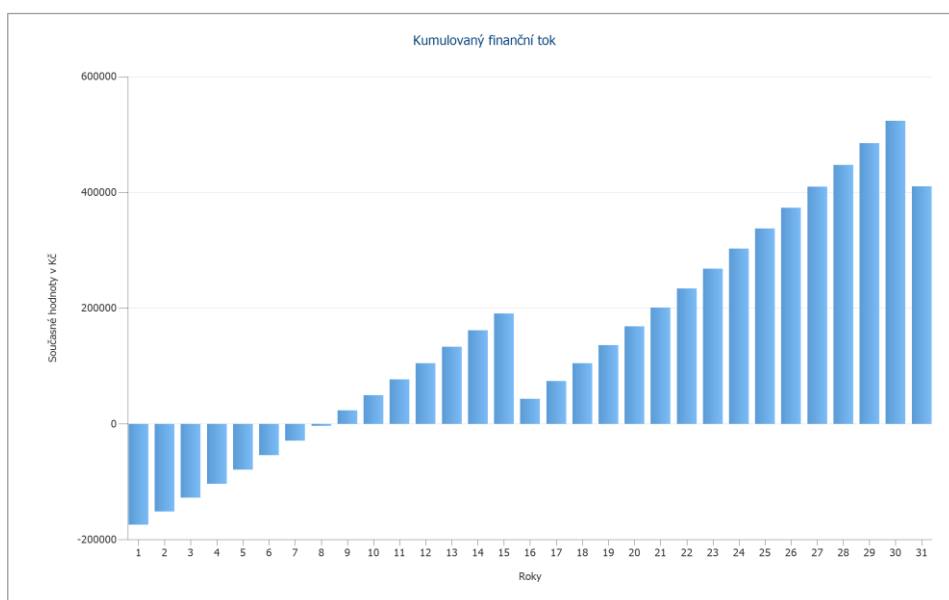
V případě odprodeje přebytkové energie a nezahrnutí možných investic v průběhu let je návratnost celého systému stanovena na 8 let při zahrnutí roční inflace cen energií 3 %.

V případě zahrnutí možných investic je nejlepší variantou, kdy by střídač byl v rámci záruční doby (5 let) nahrazen za nový a následně vydržel například 10 let. U baterií lze očekávat životnost kolem 15 let a životnost panelů a ostatních prvků až 35 let.

V nejhorším případě lze očekávat poruchu střídače po 5 letech, baterií po 7 letech a nutnou výměnu panelů již po 12 letech. Samozřejmě se jedná pouze o krajní situaci, která by celou investici podstatně znevýhodnila a návratnost by se tak prodloužila alespoň o dalších 12 let.



Obrázek 20 Návratnost bez zahrnutých reinvestic (výstup z PVSOL)



Obrázek 21 Návratnost se zahrnutím reinvestic (výstup z PVSOL)

7.5.6 Vstupní investice

Celková investice je stanovena na 347 203 Kč (viz. Tabulka 5). Nejdražší položkou celého systému byl bateriový systém s BMS jednotkou celkem za 158 478 Kč. Investice na instalaci systému je stanovena na 38 500 Kč díky možnosti částečné instalace systému svépomocí. Standartní ceny za instalaci jsou 25 000Kč/1kWp výkonu panelů a 10 000Kč/1kWh kapacity bateriového systému.

Tabulka 5 Vstupní investice

| Položka | Cena |
|------------------------------------|-------------------|
| Canadian Solar CS3W-420P x15 | 59 250 Kč |
| GoodWe GW5K-ET | 47 250 Kč |
| Pylontech H48050 x5 + SC0500A-100S | 158 478 Kč |
| kabely | 875 Kč |
| ochranné prvky | 2 650 Kč |
| konstrukce pro FV panely | 26 200 Kč |
| instalace | 38 500 Kč |
| pylonbox - rack | 14 000 Kč |
| Celkem | 347 203 Kč |

*prodejní ceny rok 2021

7.5.7 Roční úspory

Na základě aktuálních cen energií na trhu se dá očekávat roční úspora na elektřině kolem 21 000 Kč. U aktuálního poskytovatele energií je navíc umožněn odprodej za nejvýhodnější cenu ze standartně na trhu nabízených možností. (0,950 Kč/kWh)
Celková úspora by se pak měla pohybovat kolem 22 500 Kč (viz. Tabulka 6). [8], [17]

Tabulka 6 Celková spotřeba a úspory

| | |
|---|------------------|
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 6 551 kWh/Rok |
| pokryto FV s baterií | 3 297 kWh/Rok |
| pokryto FV (přebytek) | 1 120 kWh/Rok |
| pokryto sítí | 2 134 kWh/Rok |
| Přetoky do sítě | 1 706 kWh/Rok |
| Podíl pokrytí solární energií | 67,4 % |
| Cena za Kwh [8] | 4,732 Kč |
| Roční náklady bez FV | 30 999 Kč |
| Roční úspora s FV | 20 901 Kč |
| Roční zisk z přetoků | 1 621 Kč |
| Celková úspora | 22 522 Kč |
| Roční náklady na energie s FV | 10 098 Kč |

8. ZÁVĚR

Z návrhu vyplívá, že FV elektrárnu je možné realizovat s návratností již do 8 let. V případě zahrnutí průměrných nákladů na údržbu a náhradu komponent v průběhu živostnosti se projekt jeví jako realizovatelný, a navíc s protichůdným trendem dlouhodobého růstu cen energií a klesajícími náklady na obnovu je realizace FV elektrárny velice perspektivní. Jako varianta FV panelů bylo zvoleno řešení polykrystalické, protože i přes nižší účinnost je cena za Wp výhodnější a vzhledem k velké obsažitelné ploše střechy byla tato varianta nejideálnější. S osazením elektrického ohřívače a bateriového systému je možno využít většinu vyprodukované energie. Úplná nezávislost od sítě je s aktuální technologií, a především v podnebí středního pásu nemožná.

Pořízení zánovního elektromobilu je zajímavé řešení, díky kterému lze v rámci dlouhodobých nákladů na dopravu ušetřit značnou část peněz, a i přes určité kompromisy z důvodu sníženého dojezdu a malého množství dobíjecích stanic v ČR je elektromobil akceptovatelné řešení. S vyšším množstvím sériově produkováných elektroaut lze očekávat také snížení cen článků, zefektivnění jejich technologie a následná implementace v nové generaci elektromobilů s vyšším dojezdem na jedno nabití. V kombinaci s FV elektrárnou je optimalizace využití přetoků částečně optimalizovaná a jedná se tak spíše o řešení, které je výhodně realizovatelné i samostatně.

LITERATURA

- [1] KHALIGH, Alireza a Omer C. ONAR. Energy harvesting: solar, wind, and ocean energy conversion systems. Boca Raton: CRC Press, c2010. Energy, power electronics, and machines series. ISBN 978-1-4398-1508-3.
- [2] YAHYAOU, Imene, ed. *Advances in Renewable Energies and Power Technologies*. Radarweg 29, PO Box 211, 1000 AE Amsterdam, Netherlands: Elsevier Science, 14th February 2018n. 1. ISBN 9780128129593.
- [3] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [4] ENERGYSAGE . EnergySage, LLC. [online]., ©2009-2020 . Dostupné z: <https://1url.cz/AKobU>
- [5] HASELHUHN, Ralf a Petr MAULE. Fotovoltaické systémy: energetická příručka: pro elektrikáře, techniky, instalátéry, projektanty, architekty, inženýry, energetiky, manažery, stavitele, studenty, učitele, ostatní odborné a profesní soukromé nebo veřejné instituce a zájemce o fotovoltaický obor a energetickou nezávislost. Plzeň: Česká fotovoltaická asociace, 2017. ISBN 978-80-906281-5-1
- [6] NOVÁ ZELÁNÁ ÚSPORÁM. Státní fond životního prostředí ČR. [online]., ©2021. Dostupné z: www.novazelenausporam.cz/
- [7] FLORIDA SOLAR ENERGY CENTER. University of Central Florida. [online]., ©2014. Dostupné z: <https://1url.cz/JKobZ>
- [8] Ceník energií Pražská plynárenská a.s. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/MKo92>
- [9] Katalogový list měniče. GOODWE. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/RKobh>
- [10] Katalogový list panely polykrystalické. CanadianSolar. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/wKobD>

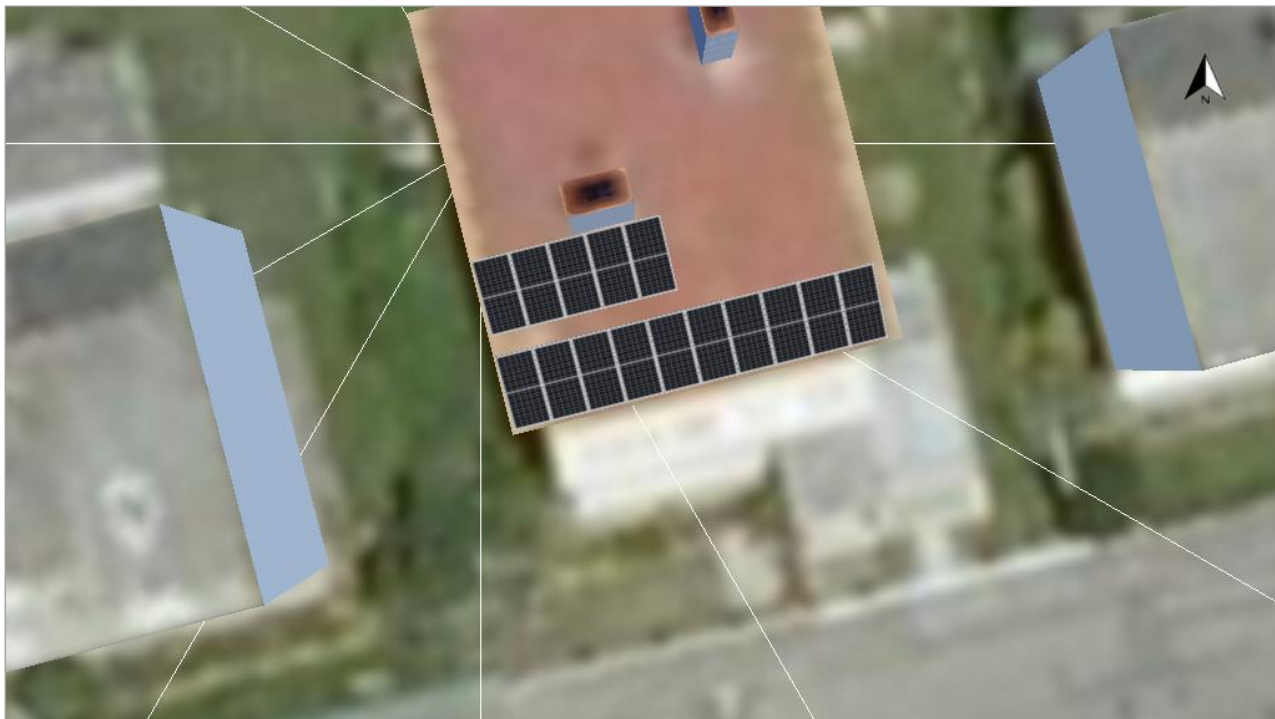
- [11] Katalogový list panely monokrystalické. CanadianSolar. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/HKob4>
- [12] Katalogový list panely polykrystalické. SunTech. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/zKobj>
- [13] Katalogový list panely monokrystalické. LONGI. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/tKobd>
- [14] Katalogový list ohřívač vody. Dražice OKC. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/oKoPr>
- [15] Katalogový list BMS + baterie. PylonTech. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/lKobJ>
- [16] Katalogový list topná jednotka. Dražice OKC. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/SKoPJ>
- [17] Cena výkupu energií. Pražská plynárenská a.s. [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/OKo9H>
- [18] Katalog VolksWagen E-Golf. VolksWagen [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/MKoPw>
- [19] Katalog Nissan Leaf E-Golf. Nissan [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/oKoPH>
- [20] Katalog Tesla model 3 Long range. Tesla [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/YKoP2>
- [21] Katalog Škoda Octavia 3. Škoda [online]., ©2021. Dostupné z: <https://1url.cz/KKoPB>

Seznam příloh

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| PŘÍLOHA 1 PVSOL PROTOKOL..... | 46 |
|--------------------------------------|-----------|

Příloha 1 PVSOL PROTOKOL

Přehled projektu

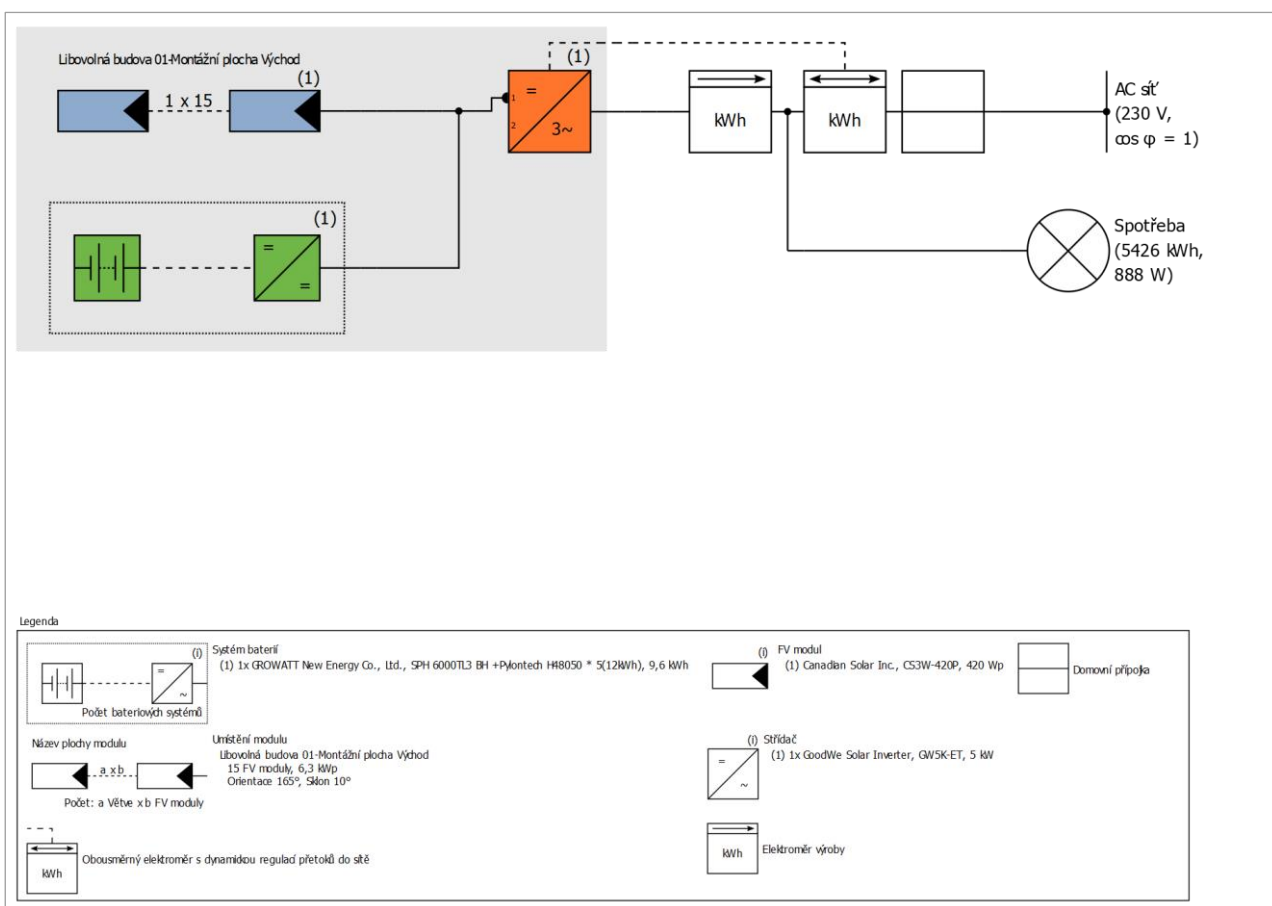


Obrázek: Obrazový přehled, 3D design

FV zařízení

3D, Fotovoltaický systém s elektrickými spotřebiči a akumulátorovými systémy připojený k rozvodné síti

| Klimatická data | LUKA, CZE (1991 - 2010) |
|---------------------------|-------------------------|
| Instalovaný výkon | 6,3 kWp |
| Plocha FV modulů | 33,1 m ² |
| Počet FV modulů | 15 |
| Počet měničů | 1 |
| Počet bateriových systémů | 1 |



Obrázek: Schéma zapojení

Roční výnos

Roční výnos

| | |
|---|------------------|
| Energetický výnos FVS (AC síť) | 6 123 kWh |
| Přímá vlastní spotřeba | 3 297 kWh |
| Spotřeba přebytku | 1 120 kWh |
| přívod mřížky | 1 706 kWh |
| Ztráta energie omezením přetoků do sítě | 0 kWh |
| Podíl vlastní spotřeby | 72,1 % |
| Stupeň soběstačnosti | 67,4 % |
| Spec. Roční výnos | 1 027,98 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení (PR) | 87,5 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 6,2 %/Rok |
| Snížení emisí CO ₂ | 2 702 kg/rok |

Finanční analýza

Váš zisk

| | |
|--|--------------------|
| Celkové investiční náklady | 347 203,00 Kč |
| Celková kapitálová rendita | 11,51 % |
| Doba amortizace | 7,7 Roky |
| Vlastní výrobní náklady elektrické energie | 3,21 Kč/kWh |
| Energetická bilance / Princip napájení | Napájení přebytkem |

Výsledky byly zjištěny matematickým modelovým výpočtem firmy Valentin Software GmbH (algoritmy PV*SOL). Skutečné výnosy solární elektrárny se mohou lišit z důvodu výkyvů počasí, stupně účinnosti modulů a měničů a také jiných faktorů.

Konstrukce zařízení

Přehled

Data zařízení

| | |
|-----------------|--|
| Druh zařízení | 3D, Fotovoltaický systém s elektrickými spotřebiči a akumulátorovými systémy připojený k rozvodné síti |
| Začátek provozu | 28.11.2020 |

Klimatická data

| | |
|--------------------------------------|-------------------------|
| Lokalita | LUKA, CZE (1991 - 2010) |
| Řešení dat | 1 h |
| Použité simulační modely: | |
| - Difúzní záření na vodorovné rovině | Hofmann |
| - Ozařování na skloněnou plochu | Hay & Davies |

Spotřeba

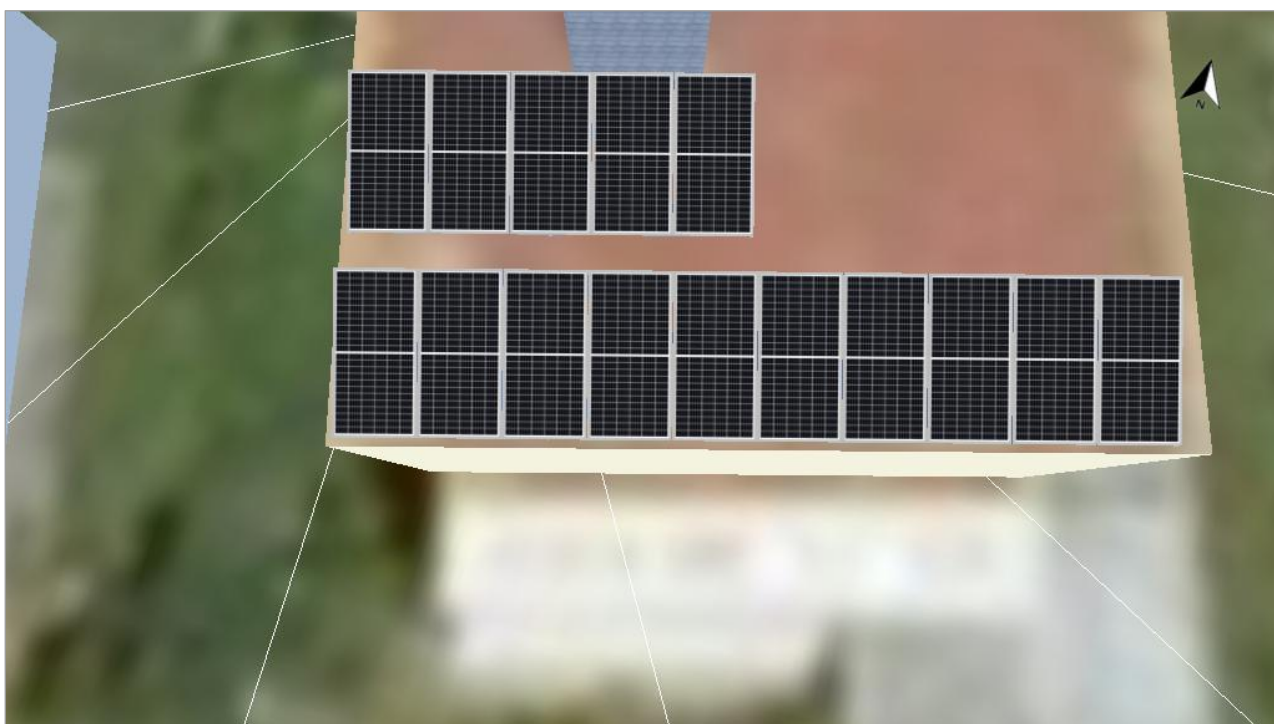
| | |
|---|----------|
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 5426 kWh |
| Nový | 5426 kWh |
| Špičkové zatížení | 0,9 kW |

Plochy modulů

1. Umístění modulu - Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

FV generátor, 1. Umístění modulu - Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

| | |
|----------------------|--|
| Jméno | Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ |
| FV moduly | 15 x CS3W-420P (v1) |
| Výrobce | Canadian Solar Inc. |
| Sklon | 10 ° |
| Orientace | Jih 165 ° |
| Situace při vestavbě | Montáž na stojanech na střeše |
| Plocha FV modulů | 33,1 m² |



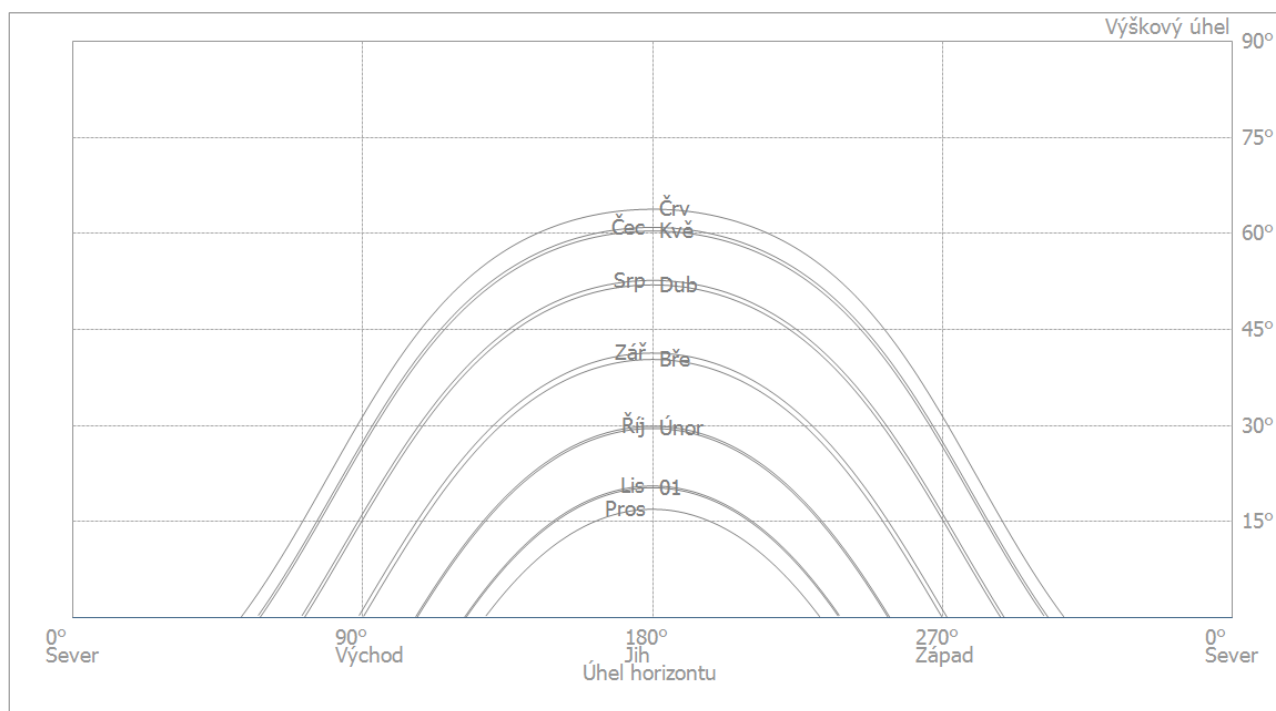
Obrázek: 1. Umístění modulu - Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

Degradace modulu, 1. Umístění modulu - Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

| | |
|------------------------------|-------|
| Zbývající výkon po 20 letech | 100 % |
|------------------------------|-------|

Obrázek: Degradace modulu, 1. Umístění modulu - Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

Linie horizontu, 3D design



Obrázek: Horizont (3D design)

Konfigurace měniče

Propojení stringů 1

| | |
|-----------------------------|--|
| Umístění modulu | Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ |
| Střídač 1 | |
| Model | GW5K-ET (v1) |
| Výrobce | GoodWe Solar Inverter |
| Počet | 1 |
| Faktor dimenzování střídače | 126 % |
| Propojení stringů | MPP 1: 1 x 15 MPP 2: nezakrytý |

AC síť

AC síť

| | |
|-----------------------------|-------|
| Počet fází | 3 |
| Síťové napětí (jednofázové) | 230 V |
| Účinník (cos phi) | +/- 1 |

Bateriové systémy

Systém baterií

| | |
|-----------------|---|
| Model | SPH 6000TL3 BH +Pylontech H48050 * 5(12kWh) (v1) |
| Výrobce | Pylontech |
| Počet | 1 |
| Měnič baterie | |
| Typ připojení | Připojení DC generátoru |
| Jmenovitý výkon | 6 kW |
| Baterie | |
| Výrobce | Pylontech |
| Model | H48050 (v1) |
| Počet | 5 |
| Energie baterie | 9,6 kWh |
| Typ akumulátoru | Lithium-železo-fosfát |

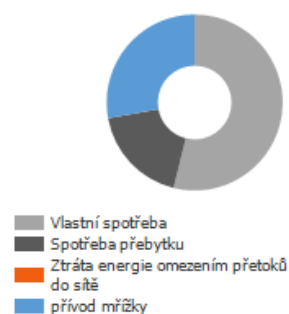
Výsledky simulace

Výsledky Celkové zařízení

FV zařízení

| | |
|--|------------------|
| Instalovaný výkon | 6,3 kWp |
| Spec. Roční výnos | 1 027,98 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení (PR) | 87,5 % |
| Snížení výnosu zastíněním | 6,2 %/Rok |
| Energetický výnos FVS (AC síť) s baterií | |
| Vlastní spotřeba | 3 297 kWh/Rok |
| Spotřeba přebytku | 1 120 kWh/Rok |
| Ztráta energie omezením přetoků do sítě | 0 kWh/Rok |
| přívod mřížky | 1 706 kWh/Rok |
| Podíl vlastní spotřeby | 72,1 % |
| Snížení emisí CO ₂ | 2 702 kg/rok |

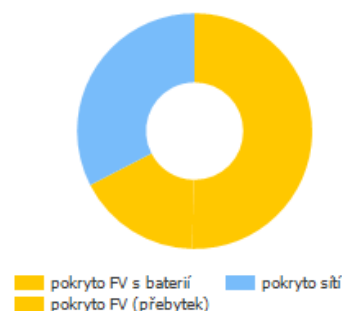
Energetický výnos FVS (AC síť) s baterií



Celková spotřeba

| | |
|---|---------------|
| Celková spotřeba | 5 426 kWh/Rok |
| Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač) | 5 kWh/Rok |
| Spotřeba přebytku | 1 120 kWh/Rok |
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | |
| pokryto FV s baterií | 3 297 kWh/Rok |
| pokryto FV (přebytek) | 1 120 kWh/Rok |
| pokryto sítí | 2 134 kWh/Rok |
| Podíl pokrytí solární energií | 67,4 % |

Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby



Systém baterií

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Dobití na začátku | 10 kWh |
| Přetoky do sítě (FV zařízení) | 1 904 kWh/Rok |
| Energie baterie k pokrytí spotřeby | 1 545 kWh/Rok |
| Ztráty nabíjením/vybíjením | 347 kWh/Rok |
| Ztráty v baterii | 21 kWh/Rok |
| Cyklické zatížení | 4,7 % |
| Životnost | >20 Roky |

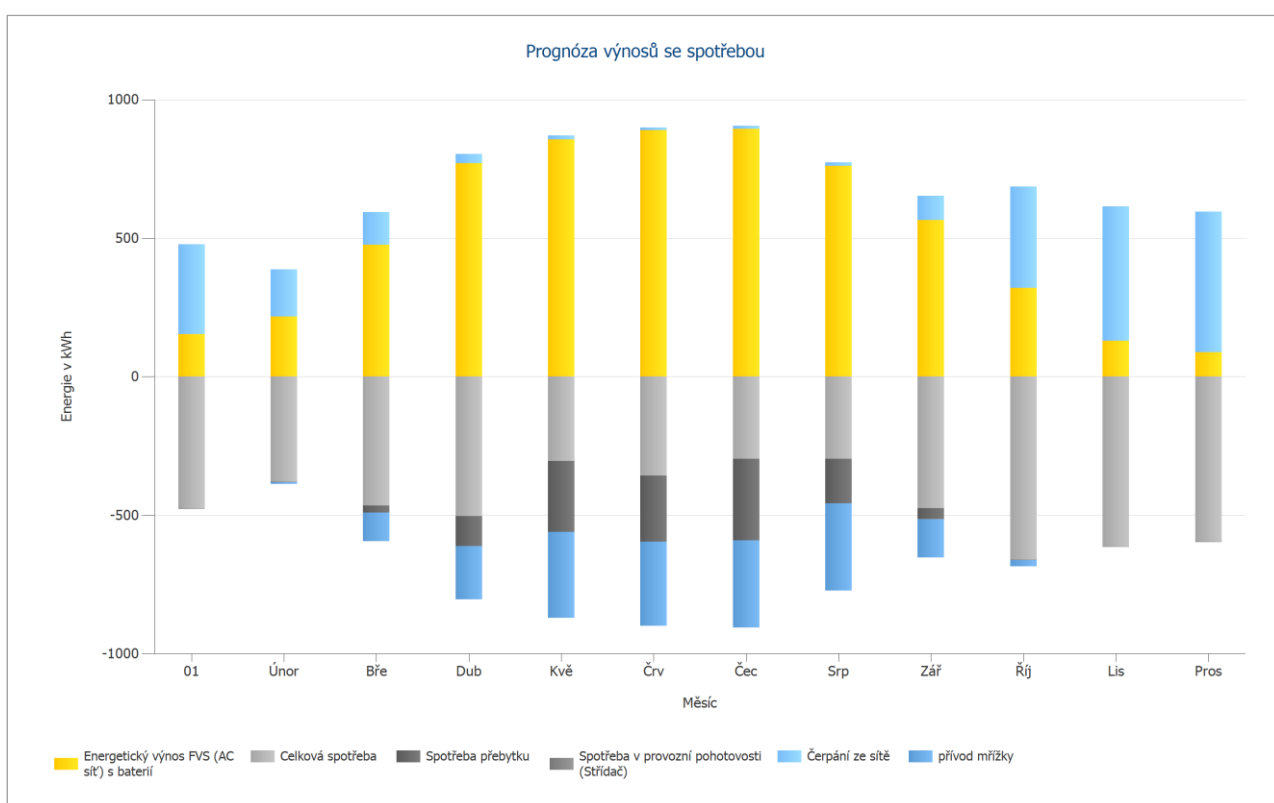
Stupeň soběstačnosti

| | |
|---|---------------|
| Celková spotřeba, včetně vlastní spotřeby | 5 431 kWh/Rok |
| pokryto sítí | 2 134 kWh/Rok |
| Stupeň soběstačnosti | 67,4 % |

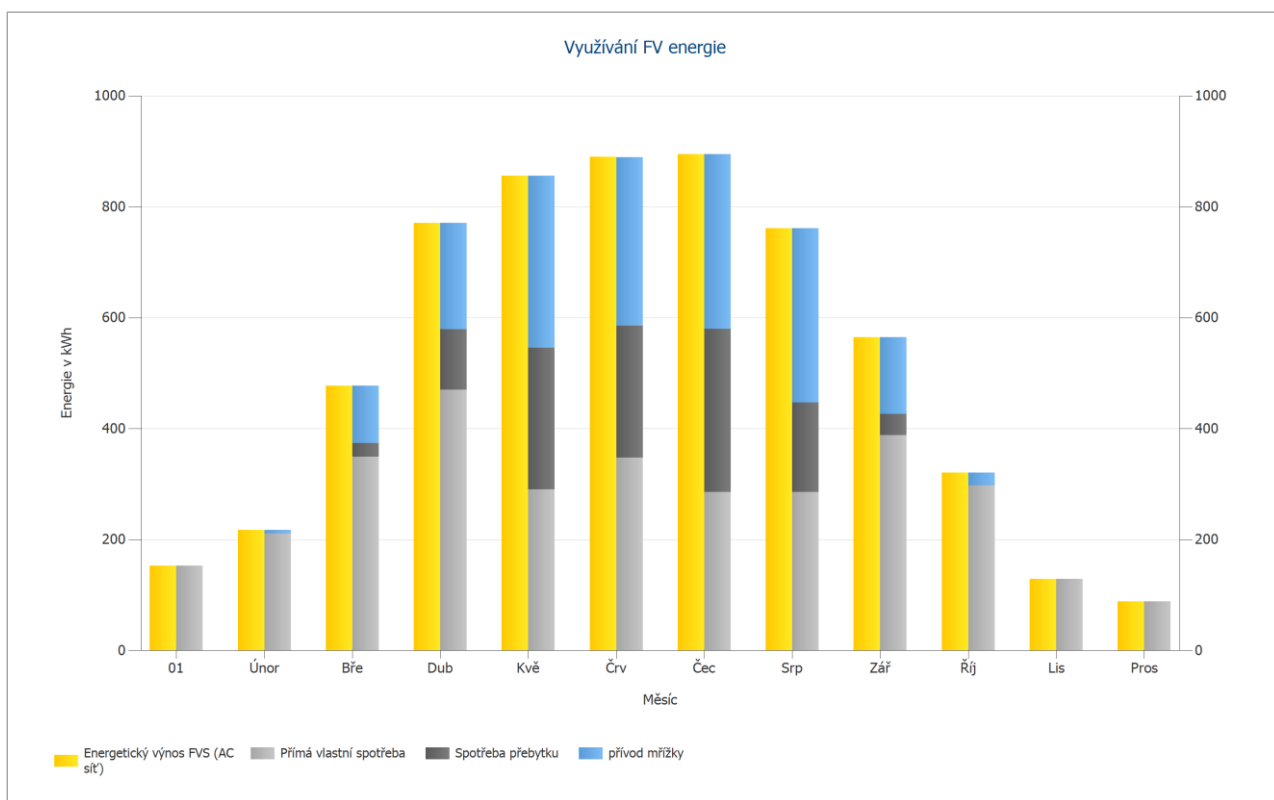
Projekt: FVE + kotel final



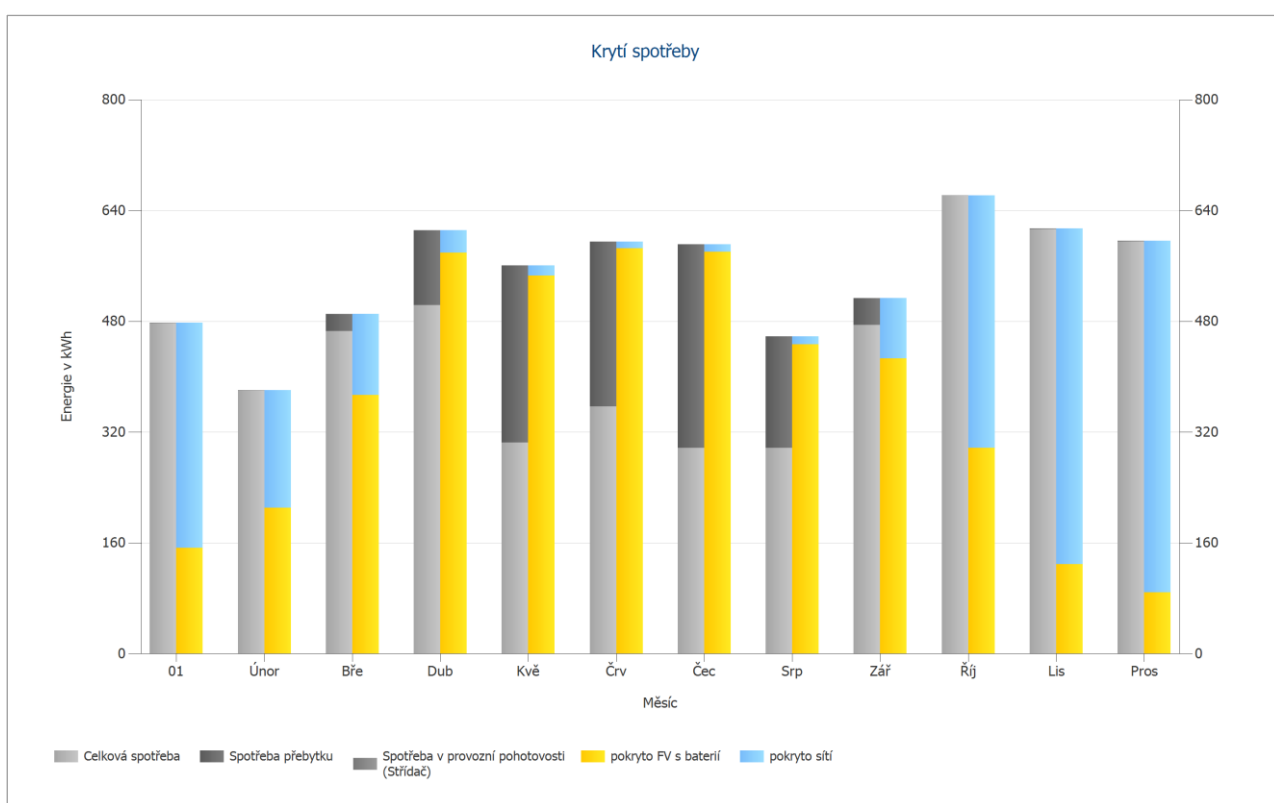
Obrázek: Tok energie grafika



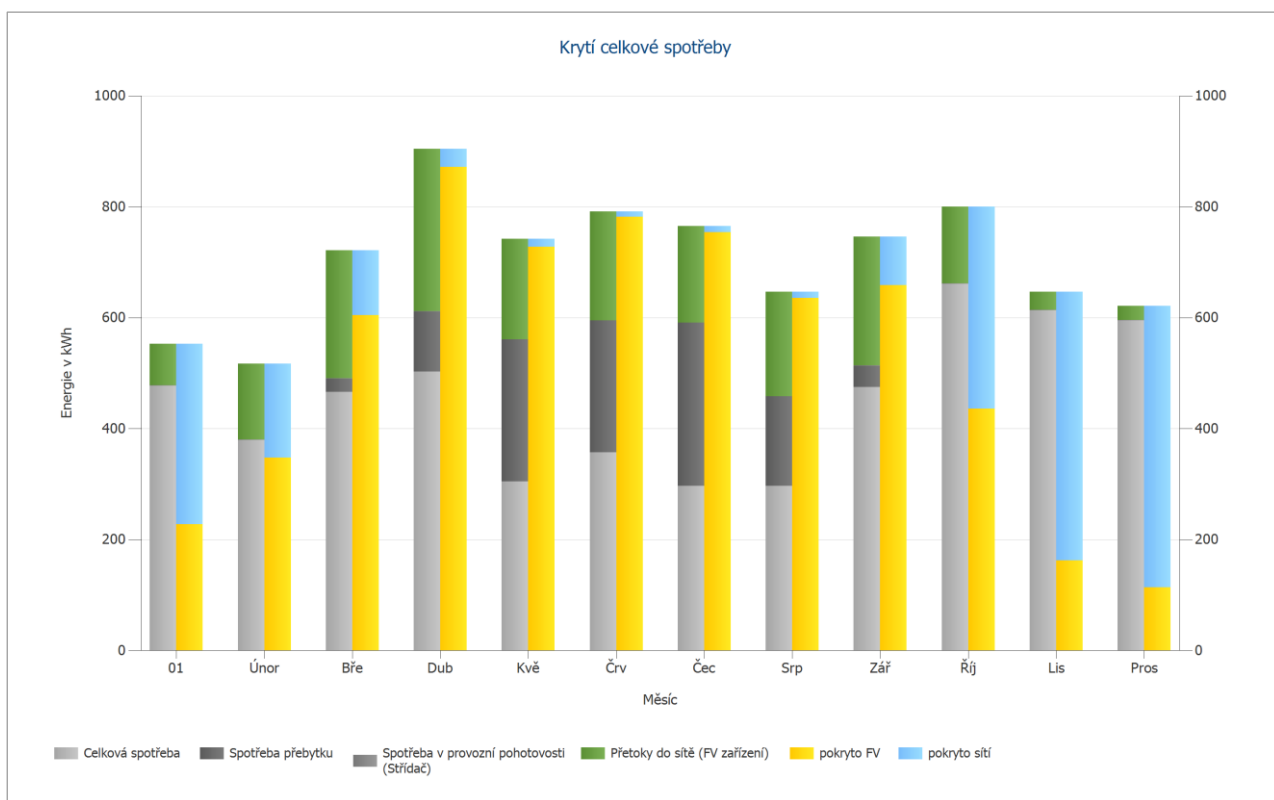
Obrázek: Prognóza výnosů se spotřebou



Obrázek: Využívání FV energie



Obrázek: Krytí spotřeby



Obrázek: Krytí celkové spotřeby

Výsledky na plochu modulu

Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Instalovaný výkon | 6,3 kWp |
| Plocha FV modulů | 33,1 m ² |
| Globální záření na modul | 1174 kWh/m ² |
| Energetický výnos FVS (AC síť) | 6123 kWh/Rok |
| Spec. Roční výnos | 971,9 kWh/kWp |
| Stupeň využití zařízení (PR) | 82,7 % |

Energetická bilance FV zařízení

Energetická bilance FV zařízení

| | | |
|---|-----------------------------------|----------|
| Globální záření horizontální | 1 127,40 kWh/m² | |
| Odchylka od standardního spektra | -11,27 kWh/m ² | -1,00 % |
| Odraz od země (albedo) | 1,70 kWh/m ² | 0,15 % |
| Vyrovňání a sklon úrovně modulu | 73,73 kWh/m ² | 6,60 % |
| Odstínění podle modulu | -17,52 kWh/m ² | -1,47 % |
| Odraz na povrchu modulu | -14,51 kWh/m ² | -1,24 % |
| Globální záření na modul | 1 159,53 kWh/m² | |
| | 1 159,53 kWh/m ² | |
| | x 33,138 m ² | |
| | = 38 424,10 kWh | |
| FV globální záření | 38 424,10 kWh | |
| Znečištění | 0,00 kWh | 0,00 % |
| STC konverze (stupeň jmenovitého výkonu modulu 19,02 %) | -31 114,22 kWh | -80,98 % |
| FV jmenovitá energie | 7 309,88 kWh | |
| Odstínění dílů specifické pro modul | -279,08 kWh | -3,82 % |
| Chování ve slabém světle | -76,41 kWh | -1,09 % |
| Odchylka od jmenovité teploty modulu | -64,29 kWh | -0,92 % |
| Diody | -3,15 kWh | -0,05 % |
| Nesrovnalost (údaje výrobce) | -137,74 kWh | -2,00 % |
| Nesrovnalost (zapojení/odstínění) | -36,32 kWh | -0,54 % |
| FV energie (DC) bez sestupné regulace měničem | 6 712,91 kWh | |
| Dobíjení DC akumulátoru | -1 903,50 kWh | - |
| Vybíjení DC akumulátoru | 1 545,01 kWh | - |
| Pokles pod výchozí výkon DC | 0,00 kWh | 0,00 % |
| Sestupná regulace z důvodu napěťového rozsahu MPP | -0,47 kWh | -0,01 % |
| Sestupná regulace z důvodu max. DC proudu | 0,00 kWh | 0,00 % |
| Sestupná regulace z důvodu max. DC výkonu | 0,00 kWh | 0,00 % |
| Sestupná regulace z důvodu max. AC výkonu/cos phi | -19,70 kWh | -0,31 % |
| Přizpůsobení MPP | -1,32 kWh | -0,02 % |
| FV energie (DC) | 6 332,93 kWh | |
| Energie na vstupu WR | 6 332,93 kWh | |
| Odchylka vstupního od jmenovitého napětí | -7,12 kWh | -0,11 % |
| DC/AC převod | -202,82 kWh | -3,21 % |
| Spotřeba v provozní pohotovosti (Střídač) | -5,17 kWh | -0,08 % |
| Ztráty v kabelech celkem | 0,00 kWh | 0,00 % |
| FV energie (AC) bez pohotovostní spotřeby | 6 117,82 kWh | |
| Energetický výnos FVS (AC síť) | 6 122,99 kWh | |

Analýza hospodárnosti

Přehled

Data zařízení

| | |
|---|---------------|
| Síťové napájení v prvním roce (včetně degradace modulů) | 1 706 kWh/Rok |
| Instalovaný výkon | 6,3 kWp |
| Uvedení zařízení do provozu | 28.11.2020 |
| Sledované období | 30 Roky |
| Úroky kapitálu | 0 % |

Hospodářské ukazatele

| | |
|--|---------------|
| Celková kapitálová rendita | 11,51 % |
| Kumulovaný finanční tok | 743 987,13 Kč |
| Doba amortizace | 7,7 Roky |
| Vlastní výrobní náklady elektrické energie | 3,21 Kč/kWh |

Přehled plateb

| | |
|------------------------------------|-------------------------|
| specifické investiční náklady | 55 111,59 Kč/kWp |
| Investiční náklady | 347 203,00 Kč |
| Canadian Solar CS3W-420P x15 | 59 250,00 Kč |
| GoodWe GW5K-ET | 47 250,00 Kč |
| Pylontech H48050 x5 + SC0500A-100S | 158 478,00 Kč |
| kabely | 875,00 Kč |
| ochranné prvky | 2 650,00 Kč |
| konstrukce pro FV panely | 26 200,00 Kč |
| instalace | 38 500,00 Kč |
| pylonbox - rack | 14 000,00 Kč |
| Jednorázové platby | 0,00 Kč |
| Podpora/Dotace | 150 000,00 Kč |
| Příchozí dotace | 150 000,00 Kč |
| Roční náklady | 0,00 Kč/Rok |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 22 522,00 Kč/Rok |
| Ostatní příjmy/Úspory | 20 901,00 Kč/Rok |
| Odprodej do sítě | 1 621,00 Kč/Rok |

Odměna za úspory

| | |
|------------------------------|---------------|
| Celkové odměny v prvním roce | 0,00 Kč/Rok |
| Úspory v prvním roce | 730,07 Kč/Rok |

Example Private (Example)

| | |
|----------------|---------------|
| Cena elektřiny | 0,22 Kč/kWh |
| Základní cena | 6,90 Kč/Měsíc |

Obrázek: Vývoj nákladů na energii

Cash flow

Tabulka peněžních toků

| | Rok 1 | Rok 2 | Rok 3 | Rok 4 | Rok 5 |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | -347 203,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 150 000,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 22 522,00 Kč | 23 181,45 Kč | 23 860,36 Kč | 24 559,31 Kč | 25 278,88 Kč |
| Roční finanční tok | -173 981,26 Kč | 23 911,52 Kč | 24 590,43 Kč | 25 289,37 Kč | 26 008,95 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | -173 981,26 Kč | -150 069,75 Kč | -125 479,32 Kč | -100 189,95 Kč | -74 181,00 Kč |

| | Rok 6 | Rok 7 | Rok 8 | Rok 9 | Rok 10 |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 26 019,70 Kč | 26 782,40 Kč | 27 567,61 Kč | 28 376,02 Kč | 29 208,31 Kč |
| Roční finanční tok | 26 749,77 Kč | 27 512,46 Kč | 28 297,68 Kč | 29 106,09 Kč | 29 938,38 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | -47 431,23 Kč | -19 918,77 Kč | 8 378,91 Kč | 37 484,99 Kč | 67 423,37 Kč |

| | Rok 11 | Rok 12 | Rok 13 | Rok 14 | Rok 15 |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 30 065,19 Kč | 30 947,38 Kč | 31 855,65 Kč | 32 790,76 Kč | 33 753,51 Kč |
| Roční finanční tok | 30 795,25 Kč | 31 677,45 Kč | 32 585,71 Kč | 33 520,83 Kč | 34 483,58 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 98 218,62 Kč | 129 896,07 Kč | 162 481,78 Kč | 196 002,61 Kč | 230 486,19 Kč |

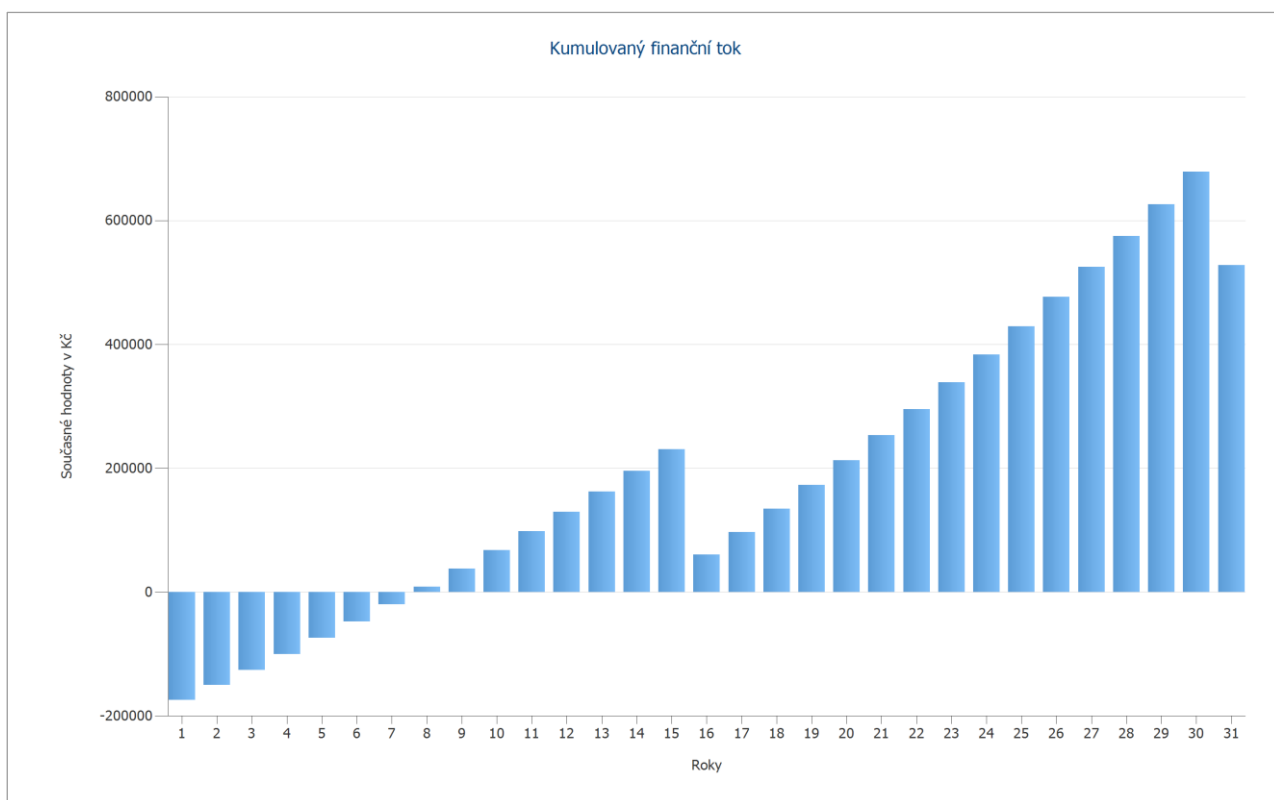
| | Rok 16 | Rok 17 | Rok 18 | Rok 19 | Rok 20 |
|----------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | -205 728,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 34 744,73 Kč | 35 765,25 Kč | 36 815,96 Kč | 37 897,74 Kč | 39 011,52 Kč |
| Roční finanční tok | -170 253,20 Kč | 36 495,32 Kč | 37 546,03 Kč | 38 627,81 Kč | 39 741,59 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 60 232,98 Kč | 96 728,30 Kč | 134 274,33 Kč | 172 902,14 Kč | 212 643,72 Kč |

| | Rok 21 | Rok 22 | Rok 23 | Rok 24 | Rok 25 |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 40 158,25 Kč | 41 338,91 Kč | 42 554,51 Kč | 43 806,09 Kč | 45 094,71 Kč |
| Roční finanční tok | 40 888,32 Kč | 42 068,98 Kč | 43 284,58 Kč | 44 536,15 Kč | 45 824,77 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 253 532,04 Kč | 295 601,02 Kč | 338 885,59 Kč | 383 421,74 Kč | 429 246,52 Kč |

| | Rok 26 | Rok 27 | Rok 28 | Rok 29 | Rok 30 |
|----------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| Investice | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 46 421,47 Kč | 47 787,52 Kč | 49 194,02 Kč | 50 642,18 Kč | 52 133,22 Kč |
| Roční finanční tok | 47 151,54 Kč | 48 517,59 Kč | 49 924,09 Kč | 51 372,24 Kč | 52 863,29 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 476 398,06 Kč | 524 915,65 Kč | 574 839,74 Kč | 626 211,98 Kč | 679 075,27 Kč |

| | Rok 31 |
|----------------------------|-----------------------|
| Investice | -205 728,00 Kč |
| Podpory/Dotace | 0,00 Kč |
| Ostatní výnosy nebo úspory | 53 668,43 Kč |
| Roční finanční tok | -151 329,50 Kč |
| Kumulovaný finanční tok | 527 745,76 Kč |

Procenta degradace a zvyšování cen se používají měsíčně za celé období sledování.
To se děje již v prvním roce.



Obrázek: Kumulovaný finanční tok

Katalogové listy

Katalogový list FV modulu

FV modul: CS3W-420P (v1)

| | |
|-------------|---------------------|
| Výrobce | Canadian Solar Inc. |
| Možno dodat | Ano |

Elektrické údaje

| | |
|----------------------------------|--------------------|
| Typ buňky | polykrystalický Si |
| Pouze vhodný transformátor-měnič | Ne |
| Počet buněk | 144 |
| Počet obtokových diod | 3 |
| Half-cell module | Ano |

Mechanické údaje

| | |
|------------|---------|
| Šířka | 1048 mm |
| Výška | 2108 mm |
| Hloubka | 40 mm |
| Šířka rámu | 30 mm |
| Hmotnost | 24,9 kg |

U/I charakteristiky při STC

| | |
|--|---------|
| Napětí v MPP | 39,5 V |
| Proud v MPP | 10,64 A |
| Jmenovitý výkon | 420 W |
| Stupeň účinnosti | 19,02 % |
| Volnoběžné napětí | 48 V |
| Zkratový proud | 11,26 A |
| Faktor naplnění | 77,76 % |
| Zvýšení volnoběžného napětí před stabilizací | 0 % |

Dílčí charakteristiky zátěže U/I

| | |
|---------------------------------------|----------------------|
| Zdroj hodnot | Výrobce/vlastní |
| Ozařování | 200 W/m ² |
| Napětí v MPP při dílčí zátěži | 38,669 V |
| Proud v MPP při dílčí zátěži | 2,118 A |
| Volnoběžné napětí při dílčím zatížení | 45,014 V |
| Zkratový proud při dílčím zatížení | 2,253 A |

Další

| | |
|----------------------------|-------------|
| Napěťový koeficient | -139,2 mV/K |
| Proudový koeficient | 5,6 mA/K |
| Koeficient výkonu | -0,37 %/K |
| Faktor korekce úhlu | 99 % |
| Maximální systémové napětí | 1500 V |

Katalogový list měniče

Střídač: GW5K-ET (v1)

| | |
|--|-----------------------|
| Výrobce | GoodWe Solar Inverter |
| Možno dodat | Ano |
| Elektrické údaje | |
| Jmenovitý výkon DC | 5 kW |
| Jmenovitý výkon AC | 5 kW |
| Max. výkon DC | 6,5 kW |
| Max. výkon AC | 5 kVA |
| Spotřeba v provozní pohotovosti | 12 W |
| Noční spotřeba | 1 W |
| Min. Výkon pro dodávku do sítě | 0,01 W |
| Max. vstupní proud | 25 A |
| Max. vstupní napětí | 1000 V |
| Jmenovité napětí DC | 620 V |
| Počet fází | 3 |
| Počet DC vstupů | 2 |
| S transformátorem | Ne |
| Změna stupně účinnosti při odchylce vstupního napětí od jmenovitého napětí | 0,2 %/100V |
| MPP Tracker | |
| Rozsah výkonu < 20 % jmenovitého napětí | 99,81 % |
| Rozsah výkonu > 20 % jmenovitého napětí | 99,99 % |
| Počet MPP Tracker | 2 |
| Max. vstupní proud | 12,5 A |
| Max. Příkon | 6,5 kW |
| Min. napětí MPP | 200 V |
| Max. napětí MPP | 850 V |

Katalogový list bateriového systému

Systém baterií: SPH 6000TL3 BH +Pylontech H48050 * 5(12kWh) (v1)

| | |
|-----------------------------|-----------------|
| Výrobce | Pylontech |
| Jmenovitý výkon | 6 kW |
| Maximální výkon nabití | 6 kW |
| Maximální vybíjecí výkon | 6 kW |
| Baterie | 5 x H48050 (v1) |
| Výrobce baterie | Pylontech |
| Kapacita | 50 Ah |
| Systémové napětí baterie DC | 240,0 V |

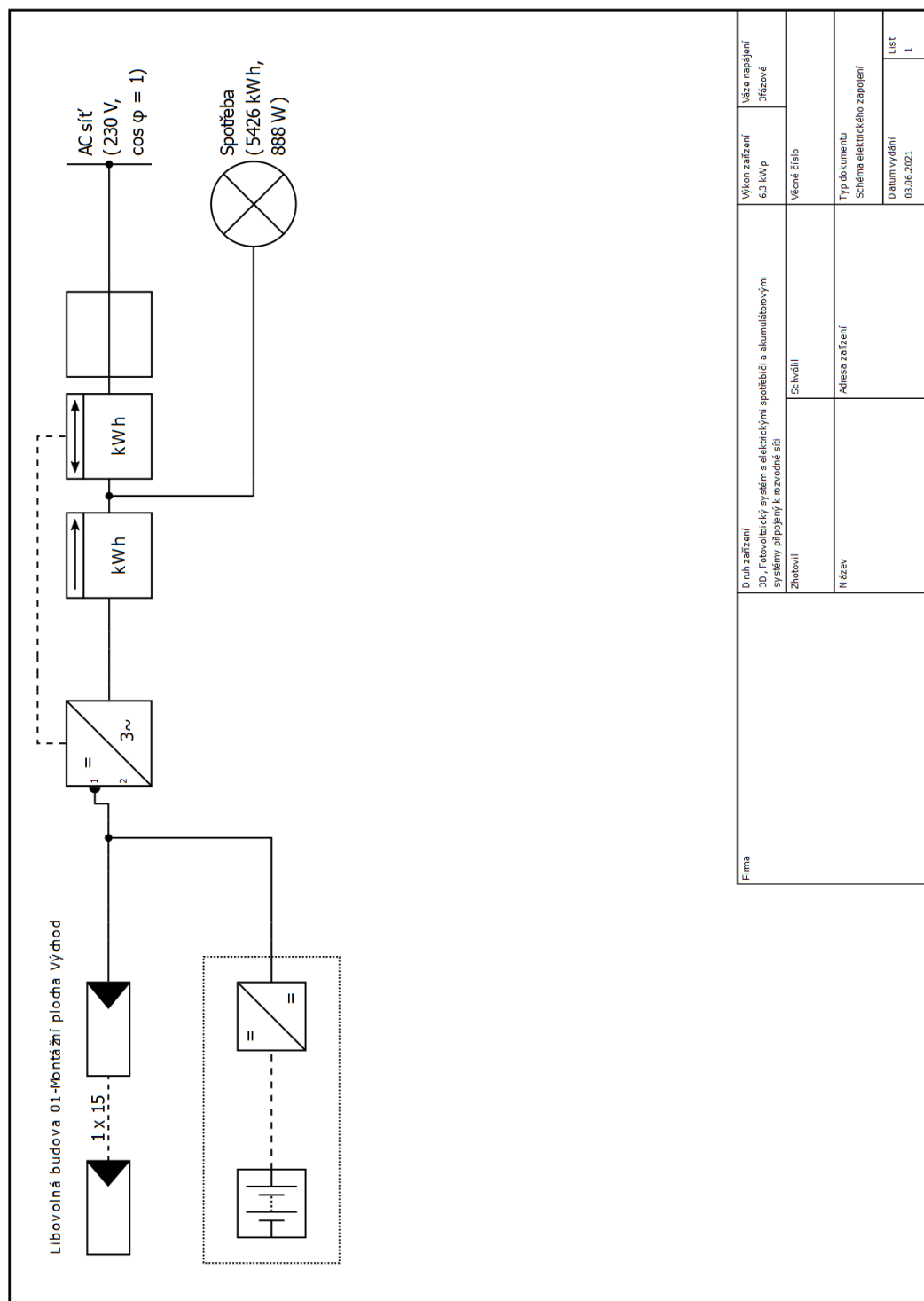
Katalogový list baterie

Baterie: H48050 (v1)

| | |
|--|-----------------------|
| Výrobce | Pylontech |
| Možno dodat | Ano |
| Mechanické údaje | |
| Délka | 442 mm |
| Šířka | 390 mm |
| Výška | 100 mm |
| Hmotnost | 24 kg |
| Elektrické údaje | |
| Samočinné vybíjení | 3 %/Měsíc |
| Počet buněk v řadě | 15 |
| Jmenovité napětí | 48 V |
| Vnitřní odpor | 6 mΩ |
| Životnost v cyklech nabíjení/vybíjení (DoD = 40 %) | 7000 |
| Typ | |
| Typ akumulátoru | Lithium-železo-fosfát |

Výkresy a kusovníky

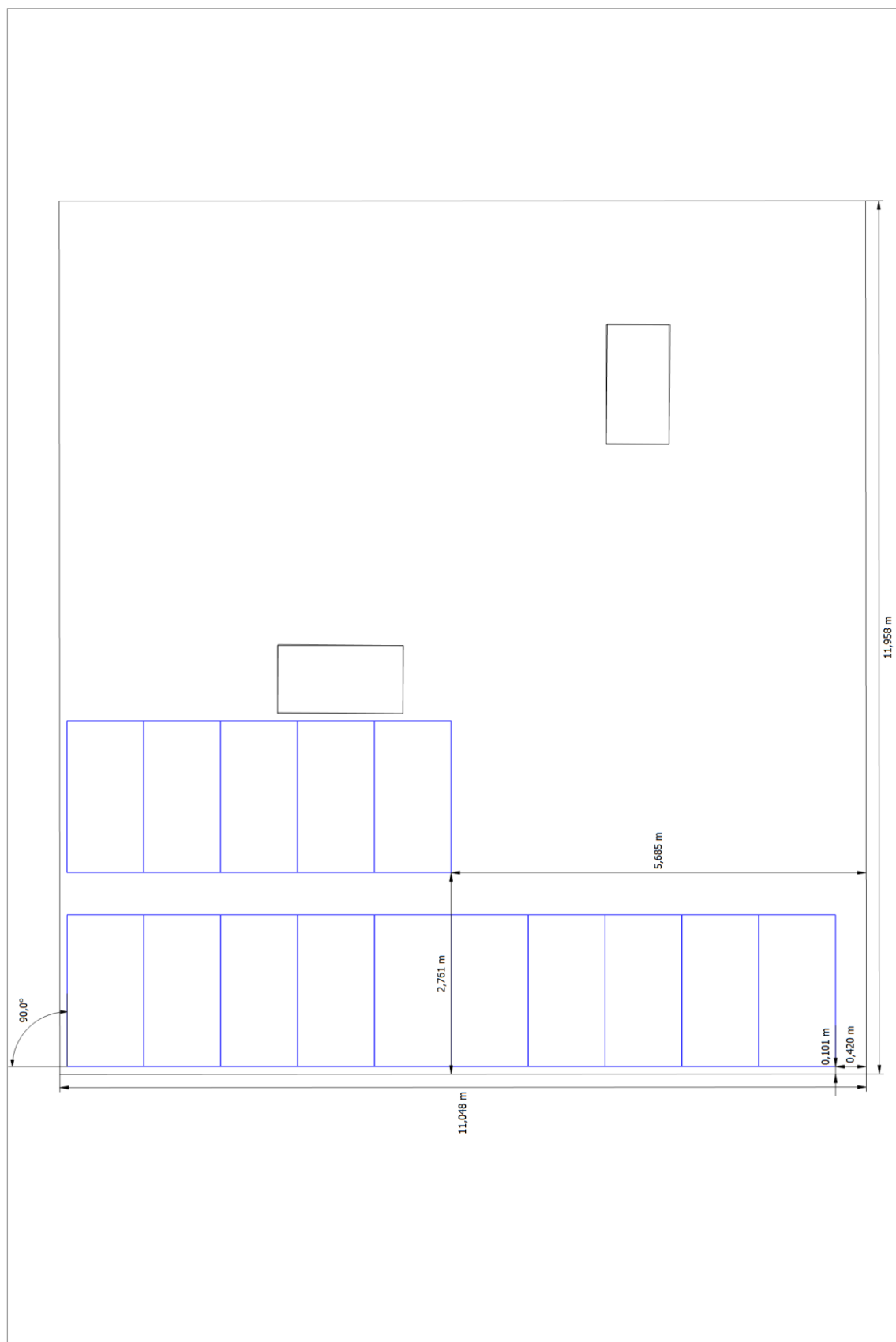
Schéma elektrického zapojení



| | | | | |
|-------|---|-----------------|---|--------------------------|
| Firma | Druh zařízení 30, Fotovoltaický systém s elektrickými spotřebiči a akumulátory systém připojený k rozvodné síti | | Výkon zařízení 6,3 kWp | Váze napájení Jřázové |
| | Zhotovitel | Schválil | Věcné číslo | |
| | N.ázev | Adresa zařízení | Typ dokumentu Schéma elektrického zapojení | |
| | | | Datum vydání 03.06.2021 | |
| | | | Líst 1 | |
| | | | | |

Obrázek: Schéma elektrického zapojení

Rozměrový výkres



Obrázek: Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

Výkres propojení do série

Obrázek: Libovolná budova 01-Montážní plocha Východ

Kusovník

Kusovník

| # | Typ | Číslo položky | Výrobce | Jméno | Množství | Jednotka |
|---|----------------|---------------|--------------------------|--|----------|----------|
| 1 | FV modul | | Canadian Solar Inc. | CS3W-420P | 15 | Kus |
| 2 | Střídač | | GoodWe Solar Inverter | GW5K-ET | 1 | Kus |
| 3 | Systém baterií | | Pylontech | SC0500A-100S +Pylontech H48050 * 5(12kWh) | 1 | Kus |
| 4 | Komponenty | | | Elektroměr výroby | 1 | Kus |
| 5 | Komponenty | | | Obousměrný elektroměr s dynamickou regulací přetoků do sítě | 1 | Kus |
| 6 | Komponenty | | | Domovní přípojka | 1 | Kus |